

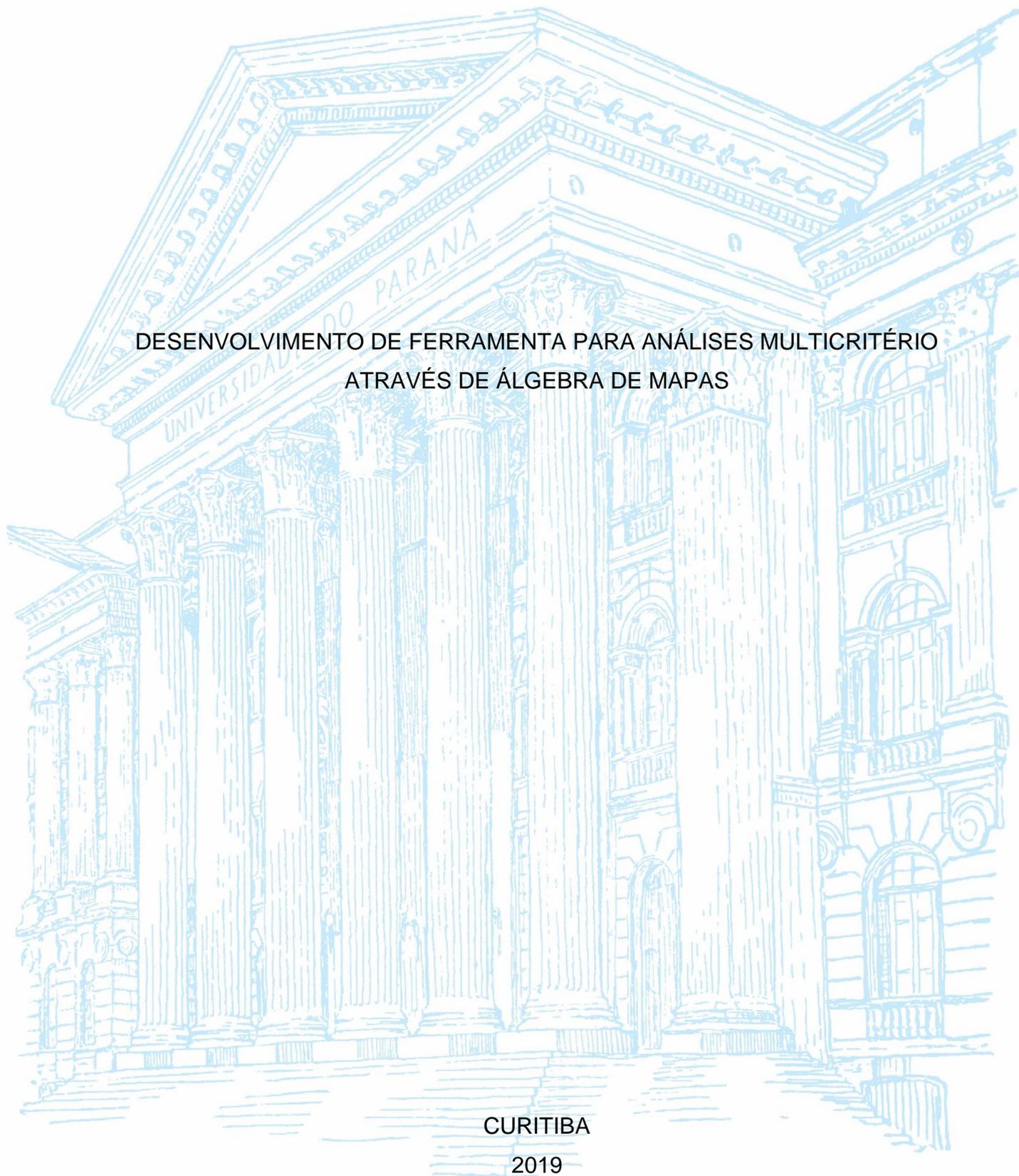
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JULIANA MATILDE HRECZUCK

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA PARA ANÁLISES MULTICRITÉRIO
ATRAVÉS DE ÁLGEBRA DE MAPAS

CURITIBA

2019



JULIANA MATILDE HRECZUCK

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA PARA ANÁLISES MULTICRITÉRIO
ATRAVÉS DE ÁLGEBRA DE MAPAS

Projeto Final apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Silvana Philippi Camboim

CURITIBA

2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Prof^a. Dra^a. Silvana Camboim por me orientar neste trabalho de conclusão de curso e fornecer o apoio intelectual necessário com toda sabedoria, paciência e clareza.

Agradeço à minha família, por acompanhar não apenas na minha jornada acadêmica, como todos os outros aspectos da minha vida, tendo a sensibilidade de perceber os momentos em que precisei de todo o carinho e amor por eles fornecidos. Agradeço o incentivo e o apoio constantes nas decisões que tomei ao longo deste período.

Agradeço à Larissa Milena Pinto, por ter me acompanhado durante toda a graduação, me dando a ajuda e o apoio necessários. Agradeço pelos ensinamentos e conselhos fornecidos com muito carinho, sabedoria e paciência, e agradeço principalmente pelos momentos de descontração, que tornaram os momentos difíceis mais fáceis de serem enfrentados.

Agradeço aos meus colegas de curso que me acompanharam por todo este período, me auxiliando e compartilhando comigo seus ensinamentos, sabedoria, dúvidas e frustrações. Em especial, agradeço à Eliana Vieira de Freitas e a Isabela Alvarenga Landim, que se tornaram grandes amigas.

Aos meus amigos, agradeço pelos conselhos, ensinamentos e ajuda que cada um me forneceu da sua maneira, possibilitando muitas vezes com que eu enxergasse visões diferentes das situações e experiências vividas, agregando uma camada de empatia para comigo mesma e com os outros. Agradeço pelos momentos de convivência, perto ou longe, e pelos momentos de descontração, que tornam a vida mais leve.

Aos professores agradeço pelos conhecimentos, ensinamentos e conselhos repassados. Agradeço também aos servidores, por proverem um ambiente acadêmico de qualidade, facilitando a jornada acadêmica.

Por fim, agradeço à Universidade Federal do Paraná por me proporcionar o conhecimento técnico e científico para que eu pudesse me graduar no curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

RESUMO

A disponibilidade de dados geoespaciais aumentou nas últimas décadas com o aprimoramento das novas tecnologias, e a utilização destes dados tem sido aplicada em diversas áreas, como a área do planejamento urbano e rural, agricultura, gestão ambiental, entre outros. Para muita destas aplicações, é necessário analisar o conjunto de fatores geográficos que influenciam determinado fenômeno. Uma importante ferramenta para tais análises é a utilização da álgebra de mapas para análises multicritérios. Tais análises servem de apoio à tomada de decisão e são realizadas pelos profissionais especialistas destas áreas, com objetivo de solucionar problemas como, por exemplo, identificação de áreas potenciais à ocorrência de algum fenômeno ambiental – seja ele a ocorrência de deslizamentos ou a implantação de alguma unidade de conservação entre outras aplicações. Os usuários destas ferramentas não necessariamente possuem conhecimentos avançados em softwares de informação geográfica (SIG's), o que pode afetar a eficiência do uso e conseqüentemente acarretar erros nos procedimentos ligados às ferramentas utilizadas. Posto isso, verifica-se a existência de uma necessidade de novas ferramentas apoiadas nas necessidades deste tipo de usuário, que auxiliem nestes tipos de operações. Com finalidade de auxiliar os usuários que utilizam da álgebra de mapas para realizarem suas análises, foi proposto um sistema especialista, que como complemento do software QGIS, capaz de automatizar e simplificar os procedimentos necessários neste tipo de análise. Esta ferramenta foi desenvolvida primeiramente através da confecção de um projeto de sistema com base na Engenharia de Requisitos, e posteriormente implementado através da linguagem de programação *Python*, em código aberto e disponibilizada no repositório *github*. Após implementado, foi colocado em prática um exemplo de aplicação do uso da ferramenta, obtendo-se resultados satisfatórios. Conclui-se então que a ferramenta, totalmente utilizando software livre, desenvolvida neste trabalho pode ser útil para profissionais de diversas áreas que queiram utilizar e automatizar a álgebra de mapas para suas análises multicritério.

Palavras-chave: Álgebra de mapas; Python; Sistemas especialista.

ABSTRACT

The availability of geospatial data has increased in recent decades with the improvement of new technologies. The use of this data has been applied in several areas such as urban and rural planning, agriculture, environmental management, among others. For many of these applications, it is necessary to analyze the set of geographic factors that influence a given phenomenon. An important tool for such analysis is the use of map algebra for multicriteria analysis. These analyzes support decision-making and are performed by professionals who are experts in these areas, aiming to solve problems such as identifying potential areas for the occurrence of some environmental phenomenon - be it the occurrence of landslides or the implementation of some conservation unit among other applications. Users of these tools do not necessarily have advanced knowledge of geographic information software GIS. This can affect the use efficiency and consequently lead to errors in the procedures related to the tools used. Therefore, it verifies a need for new tools which will support the users' demands on these types of operations. In order to assist users who, use map algebra to perform their analysis, a specialist system was proposed, which, in addition to the QGIS software, was able to automate and simplify the procedures required for this type of analysis. This tool was first developed by designing a system project based on Requirements Engineering, and later implemented through the open source Python programming language and made available in the github repository. Once implemented, two examples of use for the tool were put into practice and satisfactory results were obtained. It is concluded that the tool, fully using free software, developed in this work may be useful for professionals from various areas who wanted to use and automate map algebra for their multicriteria analysis.

Keywords: Map algebra; Python; Expert Systems.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – CONCEPÇÃO TEÓRICA DO PROCESSO DE SÍNTESE CARTOGRÁFICA BASEADA EM ÁLGEBRA DE MAPAS	20
FIGURA 2 – PROCESSO DA ENGENHARIA DE REQUISITOS	23
FIGURA 3 – FASES DO DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA	26
FIGURA 4 – PADRÕES NA UTILIZAÇÃO DA ÁLGEBRA DE MAPAS NOS ARTIGOS CIENTÍFICOS ESTUDADOS PARA IDENTIFICAÇÃO DO ESTADO DA ARTE.....	28
FIGURA 5 – FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DA METODOLOGIA.....	32
FIGURA 6 – EXEMPLO DOS TIPOS DE PARÂMETROS	35
FIGURA 7 – ETAPAS OPERACIONAIS PARA DADOS VETORIAIS DO TIPO 'PONDERADO'	36
FIGURA 8 – ETAPAS OPERACIONAIS PARA DADOS VETORIAIS DO TIPO 'MÁSCARA'	37
FIGURA 9 – ETAPAS OPERACIONAIS PARA DADOS VETORIAIS DO TIPO 'DISTÂNCIA DIRETAMENTE PROPORCIONAL'	38
FIGURA 10 – ETAPAS OPERACIONAIS PARA DADOS VETORIAIS DO TIPO 'DISTÂNCIA INVERSAMENTE PROPORCIONAL'	39
FIGURA 11 – ETAPAS OPERACIONAIS PARA DADOS MATRICIAIS DO TIPO 'PONDERADO'	40
FIGURA 12 – ETAPAS OPERACIONAIS PARA DADOS MATRICIAIS DO TIPO 'MÁSCARA'	40
FIGURA 13 – ETAPAS OPERACIONAIS PARA DADOS MATRICIAIS DO TIPO 'DISTÂNCIA DIRETAMENTE PROPORCIONAL'	41
FIGURA 14 – ETAPAS OPERACIONAIS PARA DADOS MATRICIAIS DO TIPO 'DISTÂNCIA INVERSAMENTE PROPORCIONAL'	41
FIGURA 15 – INTERFACE GRÁFICA DA PRIMEIRA ABA DA FERRAMENTA.....	43
FIGURA 16 – INTERFACE GRÁFICA DO SEGUNDO GRUPO DE ABAS DA FERRAMENTA	44
FIGURA 17 – INTERFACE GRÁFICA DO TERCEIRO TIPO DE ABA DA FERRAMENTA	45
FIGURA 18 – DIAGRAMA DE CASO DE USO PARA A PRIMEIRA ABA DA FERRAMENTA	49

FIGURA 19 – INTERFACE GRÁFICA DA PRIMEIRA ABA DA FERRAMENTA.....	49
FIGURA 20 – DIAGRAMA DE CASO DE USO PARA O SEGUNDO CONJUNTO DE ABAS DA FERRAMENTA.....	50
FIGURA 21 – INTERFACE GRÁFICA DO SEGUNDO CONJUNTO DE ABAS DA FERRAMENTA	51
FIGURA 22 – DIAGRAMA DE CASO DE USO PARA O TERCEIRO TIPO DE ABA DA FERRAMENTA	52
FIGURA 23 – INTERFACE GRÁFICA DO TERCEIRO TIPO DE ABA DA FERRAMENTA	52
FIGURA 24 – ÍCONE DA FERRAMENTA NA BARRA DE FERRAMENTAS DO SOFTWARE QGIS.....	53
FIGURA 25 – INTERFACE DA FERRAMENTO NO SOFTWARE	53
FIGURA 26 – MODELO QUE REPROJETA A CAMADA DE EXTENSÃO DA ANÁLISE	54
FIGURA 27 – MODELO GRÁFICO PARA OPERAÇÕES REALIZADAS PARA PARÂMETROS DE NATUREZA VETORIAL DO TIPO PONDERADO	55
FIGURA 28 – MODELO GRÁFICO PARA NORMALIZAÇÃO DE ARQUIVO DE FORMATO MATRICIAL.....	56
FIGURA 29 – MODELO GRÁFICO PARA OPERAÇÕES REALIZADAS PARA PARÂMETROS DE NATUREZA VETORIAL DO TIPO DISTÂNCIAS DIRETAMENTE PROPORCIONAIS	57
FIGURA 30 – MODELO GRÁFICO PARA OPERAÇÕES REALIZADAS PARA NORMALIZAÇÃO DE ARQUIVO DE FORMATO MATRICIAL	57
FIGURA 31 – MODELO GRÁFICO PARA OPERAÇÕES REALIZADAS PARA PARÂMETROS DE NATUREZA VETORIAL DO TIPO DISTÂNCIAS INVERSAMENTE PROPORCIONAIS.....	58
FIGURA 32 – MODELO GRÁFICO PARA OPERAÇÕES REALIZADAS PARA NORMALIZAÇÃO DE ARQUIVO DE FORMATO MATRICIAL PARA O TIPO DE PARÂMETRO ‘DISTÂNCIAS INVERSAMENTE PROPORCIONAIS’	59
FIGURA 33 – MODELO GRÁFICO PARA OPERAÇÕES REALIZADAS PARA PARÂMETROS DE NATUREZA MATRICIAL DOS TIPOS ‘PONDERADO’ OU ‘MÁSCARA’	60

FIGURA 34 – MODELO GRÁFICO PARA OPERAÇÕES REALIZADAS PARA NORMALIZAÇÃO DE ARQUIVO DE FORMATO MATRICIAL	60
FIGURA 35 – MODELO GRÁFICO PARA OPERAÇÕES REALIZADAS PARA PARÂMETROS DE NATUREZA MATRICIAL DO TIPO DISTÂNCIAS DIRETAMENTE PROPORCIONAIS	61
FIGURA 36 – MODELO GRÁFICO PARA OPERAÇÕES REALIZADAS PARA NORMALIZAÇÃO DE ARQUIVO DE FORMATO MATRICIAL PARA O TIPO DE PARÂMETRO ‘DISTÂNCIAS DIRETAMENTE PROPORCIONAIS’	61
FIGURA 37 – MODELO GRÁFICO PARA OPERAÇÕES REALIZADAS PARA NORMALIZAÇÃO DE ARQUIVO DE FORMATO MATRICIAL PARA O TIPO DE PARÂMETRO ‘DISTÂNCIAS INVERSAMENTE PROPORCIONAIS’	62
FIGURA 38 – MODELO GRÁFICO PARA OPERAÇÃO DA ÁLGEBRA DE MAPAS	62
FIGURA 39 – INTERFACE GRÁFICA APLICADA AO EXEMPLO DE USO	64
FIGURA 40 – INSERÇÃO DOS PARÂMETROS DO EXEMPLO DE USO	65
FIGURA 41 – COMPARAÇÃO ENTRE OS DOIS MÉTODOS DE APLICAÇÃO.....	66

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – ARTIGOS UTILIZADOS NA PESQUISA DO ESTADO DA ARTE	28
TABELA 2 – CARACTERÍSTICAS E FONTES DOS DADOS UTILIZADOS NO EXEMPLO DE APLICAÇÃO	31
TABELA 3 – PARÂMETROS DE ENTRADA DO EXEMPLO DE USO	63

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 Objetivo geral	15
1.1.2 Objetivos específicos.....	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 ANÁLISE DE DADOS.....	16
2.1.1 Análise Multicritério	16
2.1.2 Estrutura de Dados e Análises Espaciais.....	18
2.1.2.1 Álgebra de Mapas.....	20
2.2 DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA.....	21
2.2.1 Engenharia de Requisitos	21
2.2.2 Sistema Especialista	24
2.3 ESTADO DA ARTE	27
3 MATERIAL E MÉTODOS	30
3.1 MATERIAIS	30
3.2 METODOLOGIA.....	31
3.2.1 Identificação das necessidades do usuário	32
3.2.1.1 Caracterização do usuário.....	32
3.2.1.2 Identificação dos requisitos gerais.....	33
3.2.1.3 Identificação dos requisitos funcionais	33
3.2.2 Definição das operações que a ferramenta irá realizar	34
3.2.2.1 Tipos de parâmetros.....	35
3.2.2.2 Dados vetoriais	36
3.2.2.3 Dados matriciais	39
3.2.3 Projeto do sistema.....	42
3.2.3.1 Confeção dos diagramas de casos de uso	42
3.2.3.2 Proposta de interface.....	42
3.2.4 Construção do <i>plugin</i> , construção da interface gráfica e implementação através de <i>Python</i>	45
3.2.4.1 Criação do plugin utilizando o complemento Plugin Builder no QGIS	45
3.2.4.2 Criação e edição das interfaces gráficas da ferramenta através do Qt Designer	46

3.2.4.3	Confeção dos modelos através do modelador gráfico do QGIS	46
3.2.4.4	Codificação e implementação da funcionalidade.....	47
3.2.5	Exemplo de aplicação	47
4	RESULTADOS.....	48
4.1	PROJETO DO SISTEMA	48
4.2	MODELOS	54
4.3	CÓDIGO/FERRAMENTA E MANUAL.....	62
4.4	RESULTADOS DOS EXEMPLOS DE APLICAÇÕES.....	63
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
	REFERÊNCIAS.....	68

1 INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos do começo do século XXI desencadearam uma maior facilidade na aquisição de dados, e isso permitiu um grande crescimento da disponibilidade de dados geoespaciais na atualidade. A geoinformação, segundo Hubner e Oliveira (2008), tem sido utilizada em diversas áreas que necessitam uma análise de fenômenos geográficos para a tomada de decisão. Os autores citam diversos segmentos que utilizam a geoinformação como apoio na solução de problemas, sendo alguns deles o planejamento urbano e rural, agricultura, gestão ambiental, entre outros.

Através de pesquisas a artigos, revistas e trabalhos acadêmicos (OLIVEIRA, 2012, CUNHA, 2018, COLMAN, 2016, TERUYA JUNIOR, 2018, ANDRADE, DANNA & SILVA, 2012, BIANCHINI & DE OLIVEIRA, 2019, DIEDRICH, SALDANHA e KUPLICH, 2016, DE ARAUJO AMORIM & ZAINÉ, 2017), pode-se perceber que a geoinformação tem sido utilizada em análises espaciais que envolvem a álgebra de mapa para diversas aplicações, como análises de vulnerabilidade, identificação de áreas potenciais, análises de aptidão à ocupações de determinados locais, determinação da potencialidade espeleológica de uma região cárstica, identificação da melhor localização para implantação de um aterro, etc. Sistemas de Informação Geográficas otimizam a visibilidade e a gestão remota ao acrescentarem a informação posicional em um contexto geográfico de um elemento em uma cadeia de informação, facilitando a tomada de decisões, tornando-as mais assertivas, segundo Pinto Filho (2018).

A utilização de diferentes dados para a obtenção de uma nova informação é uma característica do Apoio Multicritério à Decisão (AMD) – ou Análise Multicritério. O AMD é uma atividade que auxilia um decisor a enfrentar situações específicas, as quais existe a necessidade de resolver um problema. É através de procedimentos científicos que o AMD ajuda a obter elementos de resposta a questões perguntadas aos atores envolvidos em um processo decisório (GOMES; ARAYA; CARIGNANO, 2004; ROY, 1993 apud CARDOSO, 2012). Através destas técnicas é possível obter uma hierarquização das alternativas das soluções de um problema, de acordo com o grau de atração destas para o tomador de decisão.

Uma das formas de se aplicar a análise multicritério em análises espaciais é através da álgebra de mapas - ou também chamada de síntese por Sampaio (2012) -

, operações possíveis de serem realizadas nos Sistemas de Informação Geográfica e que permitem a combinação de múltiplas variáveis. Sampaio (2012), descreve a álgebra de mapas (síntese) como a “combinação de duas ou mais variáveis que apresentem atributos qualitativos, ordenados ou quantitativos, cujo objetivo é o de gerar uma nova informação capaz de fornecer uma visão diferenciada do conjunto de atributos envolvidos”. O autor ainda explana que a combinação é de variáveis quantitativas, sob diferentes pesos. A vantagem deste tipo de operação é o auxílio na compreensão dos fenômenos, uma vez que quando se representa em um único mapa diferentes temas, sobrepostos de uma única vez, nem sempre o processo de compreensão do leitor/usuário de um mapa é eficaz; o contrário – a produção de diversos mapas com temáticas separadas, para serem usados em uma mesma compreensão de fenômeno – também é ineficaz.

Apesar da utilização de geoinformação para a realização de álgebra de mapas ocorrerem em ambiente SIG, nem todos os profissionais que realizam estas ferramentas tem um conhecimento específico deste ambiente, muitas vezes estes usuários são especialistas na área que capacita a análise dos resultados desses processamentos. Adicionalmente, estas análises podem necessitar de uma série de passos, tarefa que demanda tempo e conhecimento, além de poder resultar em uma realização não padronizada de todos os passos essenciais. Segundo Hubner e Oliveira (2008), a eficácia na gestão da geoinformação depende da adaptação das necessidades dos usuários nas ferramentas geotecnológicas. Delazari e Mendonça (2012) afirmam que a eficiência do uso está correlacionada diretamente com a familiaridade do usuário com o sistema.

A utilização das ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) por usuários não especializados na operação destes *softwares* vem crescendo, segundo Haklay e Zafiri (2009), e há poucas opções de ferramentas para SIG que foram criadas especificamente para atender e apoiar estes usuários nas suas necessidades específicas. Existe, então, uma demanda por novas ferramentas que facilitem as operações realizadas nos SIG's por este tipo de usuário. Ferramentas estas que podem ser construídas levando em consideração as demandas que um certo grupo de usuário necessita, tornando-o as operações nas atividades menos repetitivas – e assim eliminando possíveis erros embutidos na repetitividade de ações -. e otimizando o processo de tomada de decisão. Estes tipos de ferramentas são categorizados como sistemas especialistas.

Sistemas especialistas podem ser definidos, segundo Giboshi (1999) e Waterman (1986), como programas computacionais que solucionam problemas com a mesma sistematização da lógica utilizada por especialistas em suas áreas de domínio, de forma que manipulam o conhecimento a fim de auxiliar à tomada de decisões. Desta forma, um sistema especialista é “uma técnica de resolução de problemas que pertence à área de Inteligência Artificial” (CASTRO, 2014).

A confecção de sistemas especialistas é mais eficiente uma vez que seja embasada nas orientações da Engenharia de Requisitos. A Engenharia de Requisitos (ER) é uma subárea da Engenharia de Software, sendo que para Konno (2018), que cita Hirma (2011), o foco da Engenharia de Software é obter produtos com qualidade e produtividade por meio de ferramentas, métodos e processos. A autora aponta que o processo da ER deve ser considerado antes do desenvolvimento de qualquer sistema, tendo em vista que “a ER constrói uma ligação do projeto para a construção do sistema, e adapta-se para as necessidades do projeto, usuário e produto” (PRESSMAN, 2011 apud KONNO, 2018). Segundo Sluter et al. (2016), para atingir altos níveis de eficiência e efetividade, os sistemas de geoinformação – inclusive a interface do usuário -, devem ser o resultado da elicitação dos requisitos, de forma que um sistema deve atender às expectativas dos usuários e não o contrário.

Levando em consideração o panorama descrito, o objetivo deste trabalho é desenvolver uma ferramenta para o *software* de Sistema de Informação Geográfica (SIG) QGIS, que permita a realização de análises multicritério através da álgebra matricial para qualquer tipo de aplicação em que se deseja obter novas informações a partir da combinação de diferentes dados espaciais. Esta ferramenta visa facilitar o uso da álgebra de mapas para os usuários de qualquer tipo, visto que qualquer usuário que tenha conhecimento de SIG se beneficiará da minimização e padronização de etapas que a ferramenta proporciona. Além disto, a utilização da ferramenta otimiza o tempo de realização das operações envolvidas em uma álgebra de mapas. O desenvolvimento desta ferramenta apoiou-se nos conceitos da Engenharia de Requisitos para criar um sistema especialista que otimize as operações da síntese cartográfica.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral do trabalho é desenvolver uma ferramenta para o *software* de Sistema de Informação Geográfica (SIG) *QG/S*, que permita a realização de análise multicritério através da álgebra matricial para qualquer tipo de aplicação em que se deseja obter novas informações a partir da combinação de diferentes dados espaciais.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos para realização deste trabalho são:

- Levantar as necessidades do usuário através de uma revisão de literatura;
- Fazer o projeto do sistema e da interface através dos diagramas de casos de uso;
- Desenvolver os modeladores gráficos dos processos operacionais do sistema;
- Implementar a ferramenta através da linguagem *Python*;

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo, vamos detalhar os conceitos utilizados na criação deste projeto, desde os princípios de análise de dados até as técnicas de desenvolvimento de Sistemas de Informação Geográfica

2.1 ANÁLISE DE DADOS

O estudo de análise de dados deste trabalho é composto pela revisão de literatura de análise multivariada, análise multicritério e análise espacial, sendo que esta última aborda principalmente a álgebra de mapas.

2.1.1 Análise Multicritério

A análise multicritério pode ser definida como:

“...uma técnica quali-quantitativa, situada no meio do contínuo que separa as abordagens puramente exploratórias e pouco estruturadas de tomada de decisão – como Brainstorm e Grupos de Discussão – e os modelos quantitativos rigidamente estruturados da Pesquisa Operacional, voltados para a otimização de funções-objetivo, sujeitas a um conjunto de restrições como a Programação Linear ou Dinâmica” (ENSSLIN 2001 apud JANUZZI 2009).

Segundo Januzzi et al (2009), que referencia Gomes, Simões e Almeida (2002), a análise multicritério é composta de um conjunto de técnicas que auxiliam um agente decisor na tomada de decisões acerca de um problema complexo, permitindo que este seja avaliado e que possa-se determinar alternativas, segundo diferentes critérios e pontos de vista, para sua solução. Ou seja, a análise multicritério é uma ferramenta que permite a um agente decisor a identificação de prioridades em uma situação que abrange diversos aspectos (GOMES; SIMÕES; ALMEIDA, 2002 apud JANUZZI, 2009). Através destas técnicas é possível, segundo Gomes (2002) citado por Mello (2001), obter “soluções de compromisso e uma hierarquização das alternativas, de acordo com o grau de atração destas para o tomador de decisão”.

As vantagens de utilizar-se da análise multicritério elencadas por Bouyssou (1993) são citadas por Mello (2001): a) “a construção de uma base para o diálogo entre os intervenientes utilizando diversos pontos de vista comuns”; b) “maior

facilidade em incorporar incertezas aos dados sobre cada ponto de vista”; e c) “interpretar cada alternativa como um compromisso entre objetivos em conflito”. Mello (2001) relaciona esta última vantagem citada se com o fato de que dificilmente ocorrerá uma situação em que exista uma alternativa que seja superior às demais sobre todos os pontos de vista.

A análise multicritério requer, segundo Rodrigues (2001), “uma articulação entre os objetivos do ou dos decisores e a identificação dos atributos necessários na determinação do grau em que esses objetivos serão atingidos”. Os atributos são utilizados na avaliação e medida da performance em relação a um objetivo, desta forma, é necessário que para a avaliação de um determinado problema de decisão, sejam atribuídos pesos para quantificar a importância relativa de cada atributo em relação a contribuição total. Rodrigues (2001) expõe a necessidade da padronização das escalas nas medidas dos diferentes critérios para que se possa realizar a comparação entre os diferentes critérios, este processo de adequar as medidas dos diferentes critérios em uma mesma escala de valores é conhecida como ‘normalização’. Depois de normalizados, os scores dos critérios podem ser agregados de acordo com a regra de decisão, e existem variadas classes de operadores – procedimentos quantitativos - para a combinação de critérios. Cada técnica simula um determinado procedimento decisório, e para a decidir qual técnica empregar, deve-se levar em consideração o tipo de problema em análise, o contexto em estudo, os agentes decisores envolvidos, os procedimentos de comparação das alternativas e o tipo de respostas a que se quer chegar (escolha, ranqueamento etc). (MORAIS & ALMEIDA, 2006)

Segundo Barba-Romero e Pomerol (1997) podem ser definidas três problemáticas multicritérios: ordenação, escolha e alocação em classes. As etapas necessárias para o processo de decisão baseado na análise multicritério consiste da definição da situação-problema a ser resolvida (objetivo da análise) para assim decidir a alternativas de solução, dos diferentes critérios de julgamento, os agentes de decisão que devem participar do processo e etc. Existem muitos métodos de análise multicritério, e a utilização varia dependendo do tipo de análise que se queira realizar. Inclusa no grupo de análises multicritério existentes estão as análises espaciais do tipo álgebra de mapas, que ocorrem dentro de um ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). A álgebra de mapas pode ser considerada uma análise

multicritério uma vez que ela realiza a combinação de múltiplas variáveis – informações georreferenciadas - para obter-se uma nova informação.

2.1.2 Estrutura de Dados e Análises Espaciais

A representação da informação geográfica em ambiente de SIG podem ser feitas de duas formas, sendo elas na forma de estruturas vetoriais ou estruturas matriciais. As estruturas vetoriais, segundo Fitz (2008), são representadas através de um sistema de coordenadas e é composta por três primitivas gráficas, sendo elas: pontos, linhas e polígonos. Enquanto os pontos são representados apenas por um par de coordenadas, as linhas são representadas por ao menos dois pares, e os polígonos são representados por ao menos três, sendo que as coordenadas de início devem ser iguais ao do final. As estruturas matriciais, ou também denominadas raster, são representadas através de um matriz com “n linhas e m colunas, $M(n,m)$, na qual cada célula, denominada de pixel, apresenta um valor z que pode indicar, por exemplo, um cor ou tom de cinza a ele atribuído (FITZ, 2008).

Conceitualmente, os dados de estrutura vetorial e matricial estão contidos em duas grandes classes de dados geográficos: Geo-campos e Geo-objetos. Segundo Cordeiro (1996) que referencia Goodchild (1992), Geo-objetos representam entidades individualizáveis do domínio geográfico, que possuem atributos descritivos e que podem ter várias representações geométricas, sendo especializadas em classes do tipo Ponto, Linha e Polígono (BORGES; DAVIS, 2005). Enquanto os Geo-campos, principal objeto de estudo deste trabalho, “representam a distribuição espacial de uma variável geográfica sobre uma região da superfície terrestre” (CORDEIRO et al., 1996) de forma contínua. As operações sobre Geo-campos podem ser do tipo locais, de vizinhança e zonais (TOMLIN, 1990 apud CAMARA et al., 2001).

As operações locais “geram como saída um geo-campo cujos valores são função apenas dos valores dos geo-campos de entrada em cada localização correspondente” (CAMARA et al., 2001), sendo que essas operações podem operar apenas sobre um campo, por exemplo: classificar uma imagem ou fatiar um modelo numérico do terreno, bem como realizar intersecções entre conjuntos espaciais, podendo estes tratar de operações booleanas entre mapas temáticos, aponta Câmara et al. (2001). Segundo o autor diferentes possibilidades podem ser consideradas

dependendo dos diferentes domínios e contradomínios dos mapas de geo-campos, sendo elas:

- “
- Operações unárias: a entrada é um único geo-campo. também são chamadas operações de transformação, pois a operação equivale a um mapeamento entre os contradomínios dos campos de entrada e saída;
 - Operações booleanas: são utilizadas em análise espacial qualitativa e geram um temático a partir de regras aplicadas a geo-campos (que podem ser instâncias de temático, numérico ou dado_sensor_remoto). As regras especificam o conjunto de condições a serem satisfeitas para cada tema de saída;
 - Operações matemáticas: funções aritméticas, logarítmicas e trigonométricas, aplicadas a MNTs e a dado_sensor_remoto. Podem gerar MNT, dado_sensor_remoto ou temáticos.” (CAMARA et al., 2001).

Nas operações de vizinhança Câmara et al (2001) aponta que dado um geo-campo, computa-se o geo-campo de saída com base na dimensão e forma de uma vizinhança em torno de cada localização. Como exemplo para esta operação tem-se: métodos de interpolação espacial para MNT (Modelos Numéricos do Terreno representados por grades regulares ou triangulares, segundo Cordeiro et al. (1996)) -ou MDT (Modelo Digital de Elevação), nomenclatura mais utilizada na atualidade-, mapas de declividade e exposição para MDT, filtros para processamento de dados provenientes de sensoriamento remoto, entre outros (CAMARA et al., 2001).

Por fim, as operações zonais são definidas sobre um geo-campo de entrada a partir de restrições advindas de um geo-campo temático, sendo esses “representados por um conjunto de vetores estruturados topologicamente ou na forma de matriz” (CORDEIRO et al., 1996) ou cadastral, aponta Câmara et al (2001). O autor aponta que um exemplo desta operação pode ser a obtenção da declividade média para cada tipo de solo, a partir de um mapa de solos e um mapa de declividade da mesma região. As operações zonais sempre são definidas sobre geo-campos das classes MDT ou dados provenientes de sensoriamento remoto (CAMARA et al., 2001), sendo estas imagens usualmente representados por uma matriz de valores” (CORDEIRO et al., 1996).

Ambiguidades podem ser geradas em operações que utilizem de dados com tamanhos de células ou orientações incompatíveis. Bolstad (2016) aponta que o conjunto de dados deve estar compatível, podendo passar por reamostragem,

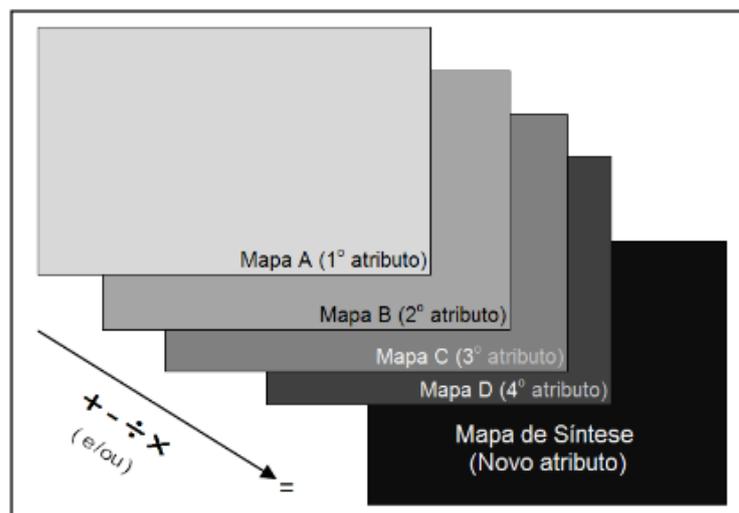
transformações ou projeção para sistema de coordenadas compatível, por exemplo. Outra questão levantada pelo autor trata da abrangência dos conjuntos de dados, apontando que para a área de interesse os dados devem possuir informações em todo conjunto. Cordeiro e Erthal (2009) indica que as incompatibilidades nas operações podem ocorrer também devido a diferentes resoluções e escalas dos dados trabalhados, afetando a quantidade de detalhes observáveis e tamanho de objetos, por exemplo.

2.1.2.1 Álgebra de Mapas

Através da manipulação de um ou mais geo-campos é possível realizar álgebra de mapas ou álgebra de campo, segundo Berry (1993). O termo “álgebra de mapas” foi popularizado por Tomlin (1990) através do livro *Geographic Information System and Cartographic Modeling*, e serve para indicar o conjunto de procedimentos de análise espacial em Geoprocessamento que produz novos dados, a partir de funções de manipulação aplicadas a um ou mais mapas (BARBOSA, 1998).

Os elementos da álgebra de mapas consistem em mapas que associam a cada local de uma área de estudo, um valor quantitativo (escalar, ordinal, cardinal ou intervalar) ou qualitativo (normal) (TOMLIN, 1990 apud CORDEIRO; BARBOSA; CÂMARA, 2004).

FIGURA 1 – CONCEPÇÃO TEÓRICA DO PROCESSO DE SÍNTESE CARTOGRÁFICA BASEADA EM ÁLGEBRA DE MAPAS



FONTE: Sampaio (2012).

Sampaio (2012), enquadra a álgebra de mapas dentro da Cartografia de Síntese, e explica que é “a partir da análise de multicritérios possibilita a combinação de diferentes variáveis quantitativas, de forma combinada e sob diferentes pesos”, este procedimento é exemplificado pela Figura 1. Estes procedimentos permitem obter novos dados que melhor representem o fenômeno em questão e conseqüentemente facilitam a compreensão.

2.2 DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Para implementar as análises espaciais que precisam ser executadas pelo usuário, o sistema precisa levar em conta as necessidades do mesmo e a usabilidade do sistema. Picanço e Delazari (2016) apontam a usabilidade sendo um aspecto importante na construção de sistemas de informação, uma vez que o retorno do usuário é determinado através da sua primeira experiência com o sistema. Nielsen e Loranger (2007) afirmam que usuários são afugentados por sistemas pouco intuitivos e agradáveis.

Desta forma, a construção de uma nova ferramenta que auxilie nas operações realizadas numa análise multicritério através de álgebra de mapas, e garanta a usabilidade, deve-se embasar nas propriedades de um sistema especialista com auxílio dos princípios da Engenharia de Requisitos.

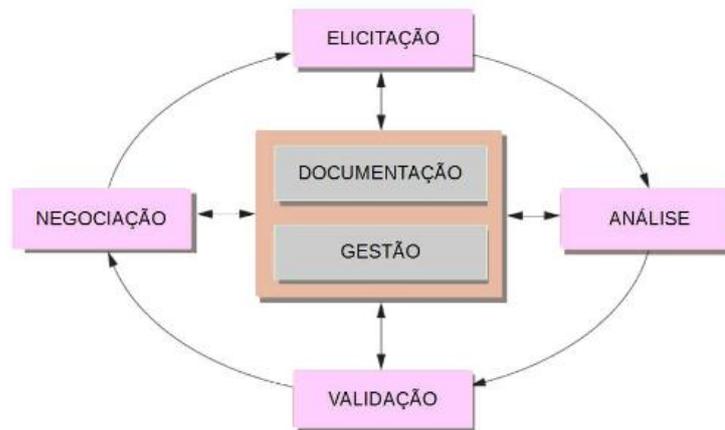
2.2.1 Engenharia de Requisitos

A Engenharia de Requisitos (ER) é uma subárea da Engenharia de Software, sendo que para Konno (2018), que cita Hiram (2011), o foco da Engenharia de Software é obter produtos com qualidade e produtividade por meio de ferramentas, métodos e processos. A autora aponta que o processo da ER deve ser considerado antes do desenvolvimento de qualquer sistema, tendo em vista que “a ER constrói uma ligação do projeto para a construção do sistema, e adapta-se para as necessidades do projeto, usuário e produto” (PRESSMAN, 2011 apud KONNO, 2018).

Zaparoli (2003) aponta que o requisito em si assume objetivos e características variadas, dependendo de quem o utiliza e em que projeto o requisito é utilizado. O autor aponta que para Sommerville (1992), um requisito pode descrever

uma propriedade geral do sistema, sua restrição específica ou ainda uma restrição no seu desenvolvimento. Zapparoli (2003) referencia que, segundo Pressman (1995: 232), a análise de requisitos de software pode ser dividida em cinco áreas: “(1) reconhecimento do problema, (2) avaliação e síntese, (3) modelagem, (4) especificação e (5) revisão”. Enquanto Sommerville (2005) aponta o processo da ER como um processo cíclico, como mostra a Figura 2

FIGURA 2 – PROCESSO DA ENGENHARIA DE REQUISITOS



FONTE: Sommerville (2005).

Dessa forma Konno (2018) aponta que no processo cíclico de Sommerville (2005) a etapa de elicitação de requisito trata da reunião da equipe técnica de desenvolvimento do sistema em conjunto aos usuários para descobrir informações sobre o domínio da aplicação, tarefas, desempenho e restrições do sistema. A etapa seguinte, de análise, resulta na especificação e detalhamento dos requisitos, sendo possível agregar novos requisitos ou até mesmo excluir já existentes. Para a validação de requisitos, é elaborado um esboço completo do documento de requisitos de forma a determinar os requisitos que definem o sistema. “A negociação dos requisitos é necessária para a mediação de possíveis conflitos até se chegar a um acordo, resolvendo possíveis problemas” (SOMMERVILLE, 2003 apud KONNO, 2018).

A autora referenciando ainda Sommerville (2003) discorre sobre a formalização dos requisitos, sendo que a documentação de requisitos deve apresentar detalhadamente os requisitos determinados, atender todos os envolvidos no desenvolvimento do sistema, compreender as restrições bem como ser utilizado como referência para a manutenção e registro do ciclo de vida do sistema.

A elicitação de requisitos voltada para sistemas de geoinformação pode ser dividida em quatro estágios, aponta Clarke (1991): análise dos requisitos, especificação dos requisitos, avaliação das alternativas e implementação do sistema (RAMOS, 2016). Já Sluter et al. (2016) cita as técnicas de: análise de documentos, entrevistas, brainstorming, questionários e cenários. A autora afirma que através dessas diretrizes é possível realizar a determinação dos requisitos de forma a definir

funcionalidades, interface externa, desempenho, atributos e restrições para a implementação de um sistema de geoinformação. Sluter et al. (2016) conclui que o design de todo um sistema de geoinformação, incluindo a interface do usuário, é o resultado da elicitación dos requisitos, de forma que um sistema deve atender às expectativas dos usuários e não o contrário, sendo possível assim atingir altos níveis de eficiência e efetividade.

2.2.2 Sistema Especialista

Sistemas especialistas podem ser definidos, segundo Giboshi (1999) e Waterman (1986), como programas computacionais que solucionam problemas com a mesma sistematização da lógica utilizada por especialistas em suas áreas de domínio, de forma que manipulam o conhecimento a fim de auxiliar à tomada de decisões. Desta forma, um sistema especialista é “uma técnica de resolução de problemas que pertence à área de Inteligência Artificial” (CASTRO, 2014). O objetivo de um sistema especialista, segundo Heinzle et al (1998) referenciado por Castro (2014), é captar o conhecimento especialista humano com a finalidade de ser capaz de solucionar os problemas da mesma forma que este. Em complemento à estas definições, a autora também cita Russel e Norvig (1995) ao apontar que o sistema especialista deve permitir que o usuário possa obter as respostas às perguntas relacionadas ao domínio do conhecimento do sistema.

Carnasciali & Delazari (2011), citando Genaro (1986), apontam que um sistema especialista é composto essencialmente por uma base de conhecimento, que consiste em extensa coleção de informações e conhecimentos sobre um domínio específico, e, também, por uma máquina (processador) de inferência, que manipula o conteúdo daquela base para produzir conclusões ou julgamentos.

Giboshi (1999) reúne algumas vantagens da utilização de um sistema especialista, citadas por Waterman (1986) e Hart (1989), sendo elas: a imunidade ao desgaste, a facilidade que o conhecimento pode ser transferido e reproduzido, a facilidade de armazenagem e consulta de conhecimento de diferentes especialistas. A autora, em contraponto, apresenta a falta de criatividade, a dificuldade de aprendizado de novas regras e enfoque no problema de modo restrito – ignorando informações isoladas – como limitações e desvantagens de um sistema especialista.

A dificuldade no desenvolvimento de um programa inteligente e de um sistema especialista, segundo Waterman (1986) e citado por Giboshi (1999), é dada em virtude a grande quantidade de conhecimento de senso comum, ou seja, o espectro de conhecimento geral sobre o mundo, que é acumulado durante toda a vida e utilizado na tomada de decisões, e que não somente os especialistas possuem, mas todos os seres humanos.

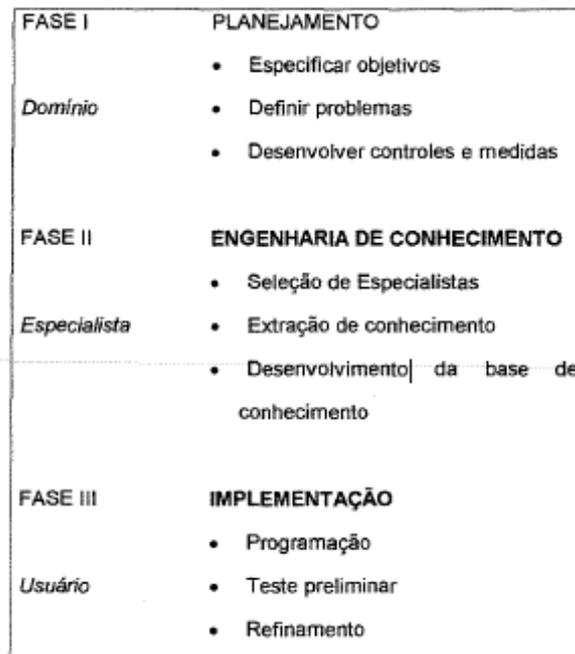
Há divergência bibliográfica entre os principais componentes de um sistema especialista. Segundo Pantaleão (2003), um sistema especialista possui três componentes principais, sendo elas a base de conhecimento, a memória do trabalho e o mecanismo de inferências. Sawyer e Foster (1986), citam, em comum a Pantaleão (2003), a base de conhecimento do domínio e o sistema ou mecanismo de inferência, mas divergem ao apresentar a interface com o usuário como sendo a terceira componente principal básica dos sistemas especialistas.

A função da base de conhecimento, segundo Castro (2014) que referencia Pantaleão (2003), é armazenar o conhecimento abstrato como um conjunto de regras, enquanto a memória do trabalho armazena o conhecimento concreto (considerado como fato/realidade) antes do processo de indução. Por fim, de modo a incorporar os dois conhecimentos – abstrato e concreto – e induzir a conclusão e novos fatos, o mecanismo de inferências é a componente que processa e interpreta o conhecimento, de modo que sua função consiste em buscar, selecionar e avaliar as regras baseados no conhecimento. Quanto à interface com o usuário, Giboshi (1999) descreve esta como “o sistema de entrada e saída que permite a comunicação bidirecional, isto é, a troca de informações entre o operador e o mecanismo de inferência.”.

Segundo Durkin (1994), o projeto de um sistema especialista envolve as seguintes etapas: avaliação do problema, aquisição de conhecimento, projeto, testes, documentação e manutenção. Similares à estas etapas, Giboshi cita Sawyer e Foster (1986), e resume a construção de um sistema especialista em três etapas, sendo elas: o planejamento, a aquisição de conhecimento e a implementação. O planejamento se refere a etapa em que são analisados os objetivos do projeto, de modo a delimitar nitidamente o problema e os efeitos e/ou resultados da solução. A segunda etapa no desenvolvimento de um sistema especialista consiste em adquirir, estruturar e traduzir o conjunto de experiências necessárias para a resolução dos problemas identificados, para que em seguida, sejam escolhidos especialistas que irão realizar a aquisição do conhecimento necessária para a resolução do problema. A aquisição do

conhecimento, segundo Bittencourt (1998), é a parte mais sensível no desenvolvimento de um sistema especialista, uma vez que envolve a extração e formalização do conhecimento de um especialista. A etapa de implementação consiste da organização e sistematização do conhecimento, na forma de fatos e regras. Após a implementação, é necessário que o sistema especialista seja avaliado, através de procedimentos aplicados para assegurar que o sistema desenvolvido atendeu ao seu propósito inicial. Segundo Harrison (1991), esta etapa pode ser dividida em: verificação, validação e análise de sensibilidade. A verificação consiste em checar se não há regras incorretas, se a base de conhecimento está completa e se para toda entrada o sistema especialista produz alguma conclusão - e se esta é consistente. A validação consiste em comparar o resultado obtido através do sistema especialista e o resultado esperado. Por fim, Giboshi (1999) descreve a análise de sensibilidade como uma análise “da extensão da variação nas saídas do sistema quando são feitas mudanças na base de conhecimento ou nos dados de entrada.”. Estas etapas são resumidas pela Figura 3.

FIGURA 3 – FASES DO DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA

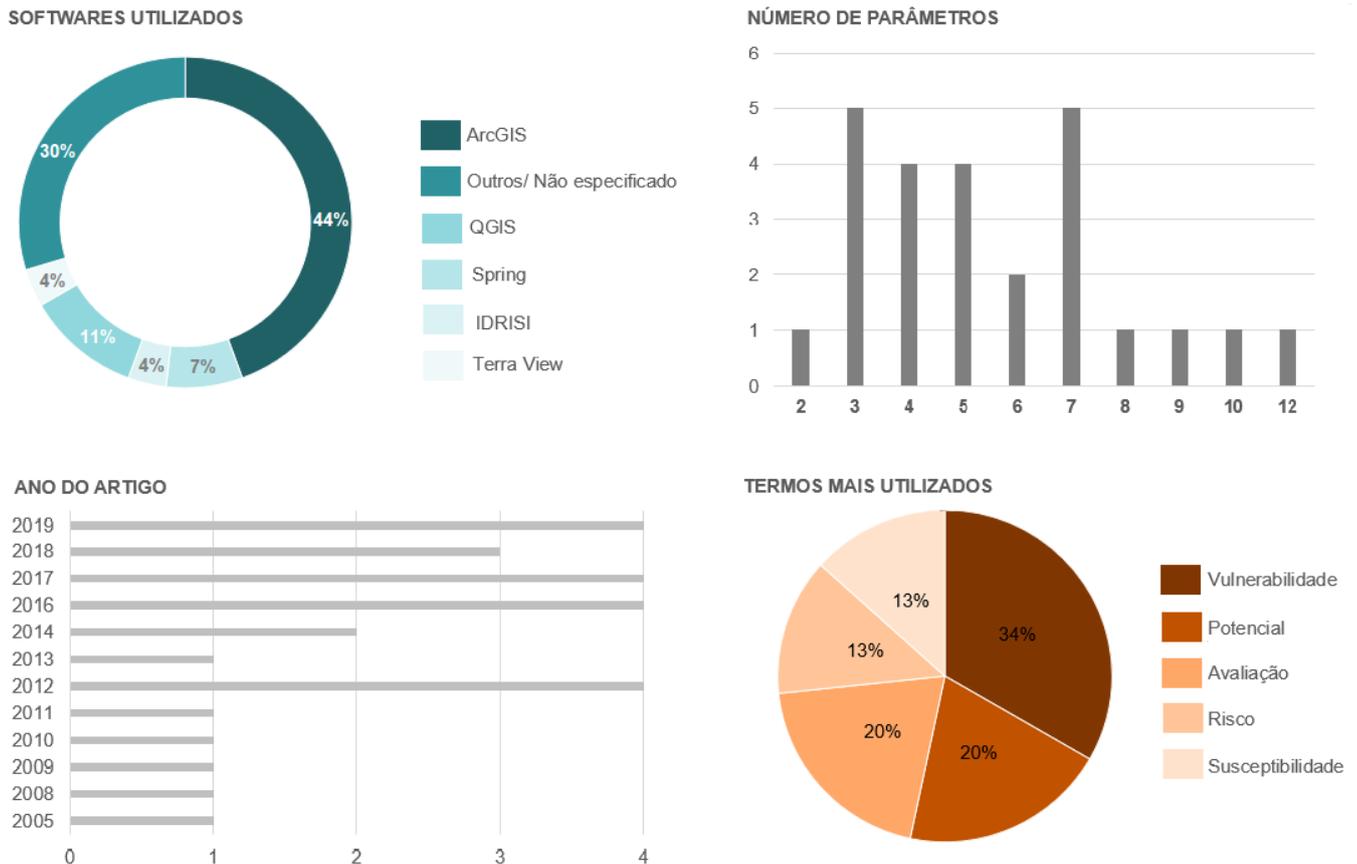


FONTE: Sawyer e Foster (1986) apud Giboshi (1999)

2.3 ESTADO DA ARTE

Através de uma pesquisa em revistas, periódicos e artigos que utilizassem a análise espacial multicritério através da álgebra de mapas para a obtenção de novas informações, pode-se identificar padrões que o usuário de um *Software* de Informação Geográfica (SIG) tem ao realizar análises multicritério através da álgebra de mapas. A pesquisa abrangeu 27 artigos, publicados principalmente em revistas voltadas às áreas de cartografia, geografia, geociências e geologia. Através da pesquisa, pode-se perceber que os usuários deste tipo de ferramenta não são necessariamente especialistas em SIGs, e sim especialistas nas áreas de aplicações destas análises. A pesquisa apresentou também a tendência dos usuários em utilizar software proprietário, uma vez que 44% dos trabalhos foram realizados através do ArcGIS (ferramenta proprietária líder no mercado global de SIGs). Através da data de publicação destes artigos, pode-se perceber que há um aumento da utilização da álgebra de mapas na realização destas análises, uma vez que cresceu a quantidade de publicações desde 2014, quadruplicando o número de artigos publicados desde 2005 (ano de publicação mais antigo desta pesquisa). Os termos mais utilizados nos títulos destes artigos apresentam que realização da álgebra de mapas tem como principal objetivo a localização e/ou determinação de áreas em que possíveis fenômenos podem vir a ocorrer, principalmente quanto à fenômenos que envolvam risco ao meio ambiente ou à população, com exemplo pode-se citar os trabalhos utilizados nesta pesquisa: o artigo científico escrito por Oliveira (2012) e o artigo realizado por Cunha (2018). Por fim, uma importante característica determinada pela pesquisa do Estado da Arte diz respeito ao número de parâmetros utilizados na álgebra de mapas em si. A pesquisa apresentou que para a realização de álgebra de mapas, os usuários tendem a utilizar não mais que 12 parâmetros, mas a média fica entre 3 e 7 parâmetros. A Figura 4 apresenta os principais resultados obtidos através da pesquisa do Estado da Arte realizada.

FIGURA 4 – PADRÕES NA UTILIZAÇÃO DA ÁLGEBRA DE MAPAS NOS ARTIGOS CIENTÍFICOS ESTUDADOS PARA IDENTIFICAÇÃO DO ESTADO DA ARTE



FONTE: A autora (2019).

A Tabela 1 apresenta os trabalhos utilizados na pesquisa do Estado da Arte.

TABELA 1 – ARTIGOS UTILIZADOS NA PESQUISA DO ESTADO DA ARTE

Artigos - Estado da Arte			
Revista	Título	Autores	Ano
Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ	Favorabilidade de Aquíferos Fraturados - Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos- Estado do Rio de Janeiro	Luana Alves de Lima; Gerson Cardoso da Silva Jr.; Juliana Magalhães Menezes & Vinícius da Silva Seabra	2009
Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ	Análise Regional para Implantação de Aterro Sanitário Utilizando Software Livre	Carina Barbosa Colman; Diego Lanza Lima; Normandes Matos da Silva & Antonio Conceição Paranhos Filho	2016
Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ	Modelagem de Conhecimento Locacional para Implantação de Estação de Tratamento de Esgoto: Estudo de Caso no Município de Criciúma (SC - Brasil)	Émilin de Jesus Casagrande de Souza; Fernando Basquioto de Souza; Gustavo José Deibler Zambrano & Merisandra Côrtes de Mattos Garcia	2019
Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ	Cavidades Naturais da Pedra Grande de Igarapé – Geossítio de Relevância Espeleológica do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais	Marcos Santos Campello; Úrsula Azevedo Ruchkys; Eduardo Abjoud Haddad & Maria Márcia Magela Machado	2012
Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ	Vulnerabilidade Natural e Ambiental da Bacia Hidrográfica Rio Formoso, Mato Grosso do Sul	Hugo Teruya Junior; Giancarlo Lastoria; Liliane Candida Correa; Fabrício Bau Dalmas & Antonio Conceição Paranhos Filho	2018
Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ	Análise da Aptidão à Ocupação Urbana da Microbacia do Córrego do Rosário (Descalvado, São Paulo, Brasil)	Eliezer Bernardes Inêz & Reinaldo Lorandi	2018
Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ	Mapeamento de Perigos e Riscos de Inundação no Município de Aparecida (São Paulo)	Eduardo de Andrade; Lana Carolina Danna & Paulo Cesar Fernandes da Silva	2012

Boletim Goiano de Geografia	Vulnerabilidade à perda de solo do parque nacional da restinga de Jurubatiba: contribuição para uma proposta de atribuição de peso	Saulo de Oliveira Folharini; Regina Célia de Oliveira & André Luiz dos Santos Furtado	2017
Boletim Goiano de Geografia	Vulnerabilidade natural dos solos e águas do estado de Goiás à contaminação por vinhaça utilizada na fertirrigação da cultura de cana-de-açúcar	Maria Gonçalves da Silva Barbalho & Alfredo Borges de Campos	2010
Ateliê Geográfico	Técnicas de geoprocessamento aplicadas à análise de padrões pontuais como uma contribuição à cartografia de zonas sísmicas no estado de Goiás	Alexandre Henrique Cardoso do Vale e Silva & Fabrizia Gioppo Nunes	2016
Ateliê Geográfico	Análise exploratória espacial de indicadores de desenvolvimento socioambiental das regiões de planejamento do norte e nordeste goiano	Fabrizia Gioppo Nunes	2013
CAMINHOS DE GEOGRAFIA	Mapeamento e caracterização dos farotes fisiográficos da Bacia Hidrográfica de Contribuição para o Reservatório de Barra Bonita - SP	Rachel Bardy Prado; Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo & Carlos Gonçalves Ferreira	2010
CAMINHOS DE GEOGRAFIA	Análise da susceptibilidade à erosão da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã (RS)	Henrique Noguez da Cunha; Jose Maria Filippini Alba; Adalberto Koiti Miura & Dejanira Luderitz Saldanha	2018
CAMINHOS DE GEOGRAFIA	Utilização de técnicas de modelagem e análise espacial na identificação de áreas ótimas para implantação de aterros sanitários em regiões metropolitanas densamente povoadas	José Nunes de Aquino; Marcelo Antonio Nero & Adriana Monteiro da Costa	2019
Caderno de Geografia	Modelagem de recursos da geodiversidade como suporte às práticas ritualísticas de comunidades de matriz africana	Liliane Rodrigues de Oliveria Braga; Maria Marcia Magela Machado & Úrsula Azevedo Ruchkys	2014
Caderno de Geografia	Métodos de avaliação da influência das áreas ripárias na sustentabilidade hidrológica em bacias hidrográficas no nordeste do estado do Pará	Priscilla Flores Leão Ferreira Tamasauskas; Larisse Fernanda Pereira de Souza; Aline Maria Meiguins de Lima; Márcia Aparecida da Silva Pimentel & Edson José Paulino da Rocha	2016
Caderno de Geografia	Potencial de vulnerabilidade natural de aquíferos à contaminação no quadrilátero ferrífero, Minas Gerais e sua relação com a atividade minerária de ouro	Samira da Conceição Sabadini; Úrsula de Azevedo Ruchkys; Leila Nunes Menegasse Velásquez & Thiago de Castro Tayer	2017
Revista Brasileira de Cartografia	Aplicação de geoprocessamento e lógica Fuzzy para criação de zoneamento no Parque Estadual da Cachoeira da Fumaça/ES para fins de conservação	Fabrizia Benda de Oliveira; Carlos Henrique Rodrigues de Oliveira; Julião Soares de Souza Lima; Reinaldo Baldotto Ribeiro Filho; Maiara Rodrigues Miranda; Lomanto Zogaib Neves & Filipe Ferraz	2014
Revista Brasileira de Cartografia	SIG aplicado à escolha de áreas potenciais para instalação de aterro sanitários no município de Presidente Prudente – SP	Tiago Matsuo Samizava; Rodrigo Hiroshi Kaida; Nilton Nobuhiro Imai & João Osvaldo Rodrigues Nunes	2008
Revista Brasileira de Cartografia	Favorabilidade de áreas para implantação de aterros controlados no município de Campos dos Goytacazes/RJ utilizando Sistema de Informação Geográfica	Fabrizia Benda de Oliveira; Maria da Glória Alves & Carlos Henrique Rodrigues de Oliveira	2011
Revista Brasileira de Cartografia	Áreas potenciais à ocorrência de floresta nativa por meio de dados geomorfométricos e hidrográficos, Região dos Campos de Cima da Serra – RS	Vianeí Luís Diedrich; Dejanira Luderitz Saldanha & Tatiana Mora Kuplich	2016
Revista Brasileira de Cartografia	Análise espacial da vulnerabilidade socioambiental no município de Campinas, SP, Brasil	Mara Lúcia Marques; Maurício Coréggio da Silva & Danilo Mangaba de Camargo	2017
Revista Brasileira de Cartografia	Geoprocessamento aplicado à identificação de áreas aptas para a implantação de unidades de conservação no Vale do Taquari, RS	Cleberton Diego Bianchini & Guilherme Garci de Oliveira	2019
Geologia - Série Científica - USP	Avaliação de suscetibilidade à erosão e movimentação gravitacional de massa no Parque Estadual do Juquery, Franco da Rocha (SP)	Danilo Gonçalves de Araújo Amorim; José Eduardo Zaine & Flávio Henrique Rodrigues	2017
IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação	Análise Multi-Critério (MCE) aplicada ao mapeamento de áreas susceptíveis a movimentos de massa na área urbana de Viçosa - MG	Paulo Ricardo Corrêa Caixeta; Daniel Fernandes Novaes Pimenta; Raquel Vieira do Amaral & Carlos Ernesto Schaefer	2012
CAMINHOS DE GEOGRAFIA	Método Multicritério aditivo no mapeamento de áreas de risco para transmissão de malária em Campo Largo do Piauí e Porto, Piauí, Brasil	Antonio Carlos dos Santos; Gustavo Souza Valladares & Izabella Cabral Hassum	2019

FONTE: A autora (2019).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo serão descritos os materiais utilizados e a metodologia seguida para o desenvolvimento deste trabalho.

3.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados para o desenvolvimento deste trabalho se separam entre os softwares utilizados para o desenvolvimento da ferramenta e os dados utilizados nos exemplos de aplicações de uso. Os *softwares* utilizados são listados abaixo, sendo que os que contêm um asterisco (*) são *softwares* de código aberto.

- *Software* Astah Community, versão UML para estudantes: *software* para confecção de diagramas de casos de uso na linguagem UML;
- *Software* Notepad++*, versão 7.8: editor de texto e de código fonte sob a licença GPL;
- *Software* QGIS*, versão 3.6.3 com o pacote GRASS 7.6.1: *software* para sistemas de informação geográfica, que permite a implementação de novas ferramentas;
- *Software* Qt Designer*: *software* de modelagem de interfaces computacionais a partir de componentes Qt.
- Pacote OsGeoW4*: distribuidor de um amplo conjunto de *softwares* geoespaciais de código aberto para ambientes Windows;
- Módulo 'os' da biblioteca padrão da linguagem *Python*: módulo que fornece funções para interagir com o sistema operacional;
- Empacotador PyQt5 da linguagem *Python* para a biblioteca Qt;
- Biblioteca '*processing*': para utilização dos processamentos das ferramentas do QGIS;
- Complementos Plugin Builder e Plugin Reloader: utilizados na criação do plugin base e na atualização das edições da implementação.

Os dados utilizados no exemplo de aplicação de uso da ferramenta são apresentados na Tabela 2.

TABELA 2 – CARACTERÍSTICAS E FONTES DOS DADOS UTILIZADOS NO EXEMPLO DE APLICAÇÃO

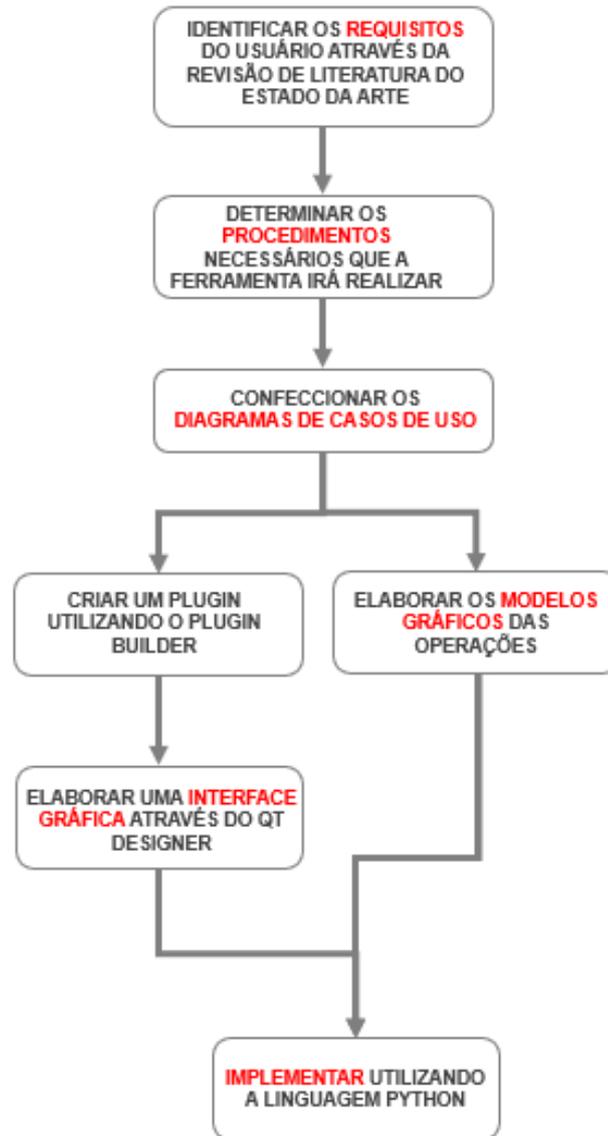
TESTE 1					
Dado	Fonte	Ano	Estrutura dos dados	Primitiva gráfica	Tipo de dado
Mapa Climático do Estado do Paraná	ITCG	2010	shapefile	polígonos	Dados ponderados
Dados de Declividade	TOPODATA	2018	geotiff	-	Dados ponderados
Linhas de Transmissão	Minas e Engeria	2017	shapefile	linhas	Distância diretamente proporcional
Rodovias	DNIT	2018	shapefile	linhas	Distância diretamente proporcional
Áreas urbanizadas	IBGE	2015	shapefile	polígonos	Distância diretamente proporcional
Unidades de Conservação	ICMBIO	2018	shapefile	polígonos	Dados ponderados
Regiões Quilombolas	INCRA	2010	shapefile	polígonos	Máscara
Terras Indígenas	IPHAN	2012	shapefile	polígonos	Máscara
Dados de Mineração	SIGMINE	2017	shapefile	polígonos	Máscara

FONTE: A autora (2019).

3.2 METODOLOGIA

Neste item será descrita a metodologia utilizada para a confecção da ferramenta. Primeiramente, fez-se necessário a identificação dos requisitos do usuário através da pesquisa do Estado da Arte, e em seguida, determinou-se os procedimentos necessários que a ferramenta iria necessitar. Com base nestas necessidades, foram confeccionados os diagramas de casos de uso, e em sequência, criou-se o *plugin* base através do complemento *Plugin Builder*, e também foram elaborados os modeladores gráficos das operações. Por fim, a interface gráfica foi confeccionada através do software Qt Designer e implementada através da linguagem Python. As etapas realizadas são descritas no fluxograma apresentado na Figura 5.

FIGURA 5 – FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DA METODOLOGIA



FONTE: A autora (2019).

3.2.1 Identificação das necessidades do usuário

3.2.1.1 Caracterização do usuário

A pesquisa do Estado da Arte permitiu identificar o tipo de usuário que utiliza das ferramentas presentes em Softwares de Informação Geográfica (SIG's) para realizar a álgebra de mapas. Os usuários identificados na pesquisa são geralmente profissionais não são especialistas na utilização dos SIG's, e sim profissionais especialistas em suas áreas que são capacitados a analisar os produtos de uma

análise multicritério com utilização da álgebra de mapas, como por exemplo, geólogos, geógrafos, planejadores urbanos, engenheiros florestais, entre outros.

3.2.1.2 Identificação dos requisitos gerais

Através da pesquisa do Estado da Arte foi possível identificar que existe a necessidade de criação de mais ferramentas voltadas aos requisitos gerais dos usuários das ferramentas que envolvem a realização de uma álgebra de mapas para análises multicritérios, uma vez que os usuários destas ferramentas não são necessariamente usuários especialistas em SIG, mas sim especialista nas análises em que realizam através do resultado obtido com a álgebra de mapas gerada. A pesquisa também ressaltou a importância de desenvolver uma ferramenta que funcione em um software livre, uma vez que 44% da amostragem de trabalhos pesquisados utilizaram um software proprietário fechado para a realização deste tipo de análise. A implementação de uma ferramenta que funcione dentro de um software livre e de código aberto tem diversas vantagens como a gratuidade, a interoperabilidade, e a possibilidade de melhoria através da construção colaborativa pela comunidade. A comunidade também é quem geralmente produz material educativo e providencia suporte para tais ferramentas. Além disto, tornar uma ferramenta cujo desenvolvimento seja centrado nas necessidades do usuário e de fácil acesso torna a disponibilização de ferramentas um fator que incentiva uma maior realização de análises.

3.2.1.3 Identificação dos requisitos funcionais

Com base na pesquisa do estado da arte, foi possível identificar que, dentro das análises que utilizaram a álgebra de mapas, os dados utilizados nas diferentes fórmulas/funções/equações se dividem em quatro categorias principais:

- 1) Dados ponderados;
- 2) Dados de 'máscara': dados que representam uma região a ser desconsiderada da análise;
- 3) Dados matriciais que representam distâncias diretamente proporcionais, ou seja, quanto maior a distância maior sua influência;

- 4) Dados matriciais que representam distâncias inversamente proporcionais, ou seja, quanto maior a distância menor sua influência;

Quanto às funções algébricas utilizadas nas análises, foi possível identificar o uso constante da média ponderada em primeiro lugar, porém, o uso de funções algébricas que refletiam índices de algum fenômeno, ou para a obtenção de uma outra informação derivada da combinação de outros parâmetros também é recorrente.

Com base na identificação destes padrões, foi possível perceber que os requisitos básicos para uma ferramenta que auxilia as análises espaciais baseadas em álgebra matricial incluem a necessidade não só entrada dos dados, como também a discriminação de que categoria de dados ele se enquadra, para posterior realização de uma função algébrica.

No âmbito operacional, os requisitos necessários para a correta realização da álgebra de mapas incluem:

- Definição da extensão da análise;
- Definição da projeção utilizada;
- Definição do tamanho do pixel que deverá ser utilizado na análise;

Em relação à usabilidade da interface gráfica, identificou-se que o sistema deve contemplar as seguintes necessidades:

- Identificação de um diretório que será utilizado para armazenar os dados de saída;
- Identificação do nome que cada parâmetro;
- Itens que poderão esclarecer ao usuário dúvidas em relação à utilização da ferramenta.

Por fim, definiu-se que para melhor concatenação de todos os requisitos do processo operacional em si e das necessidades de usabilidade, a interface gráfica deve ser estruturada em diferentes abas.

3.2.2 Definição das operações que a ferramenta irá realizar

Com base nas necessidades do usuário, foi possível definir o fluxo de operações que a ferramenta deverá realizar com os parâmetros (dados de entrada) que o usuário irá utilizar na sua análise, antes de aplicar a função algébrica. Este fluxo de operações varia de acordo com a natureza de cada parâmetro, que pode ser matricial ou vetorial, e com os tipos de parâmetro.

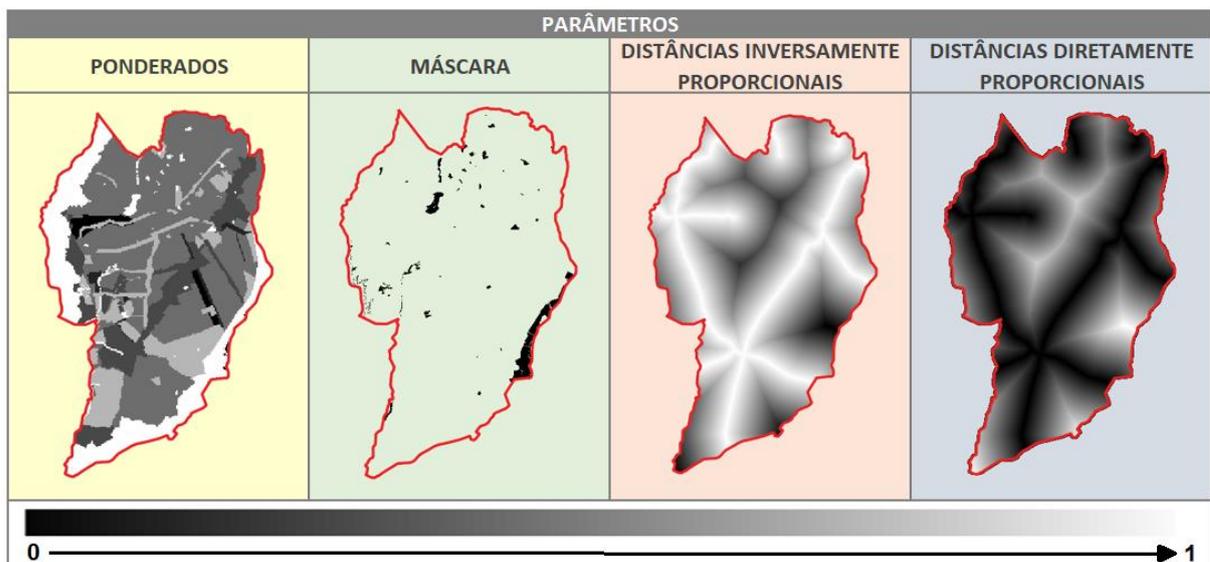
3.2.2.1 Tipos de parâmetros

Através da identificação dos requisitos funcionais, determinou-se que existem quatro tipos de parâmetros mais comumente utilizados pelos usuários nas análises multicritérios através da álgebra de mapa, sendo eles:

- 1) Dados ponderados;
- 2) Dados de 'máscara': dados que representam uma região a ser desconsiderada da análise;
- 3) Dados matriciais que representam distâncias diretamente proporcionais, ou seja, quanto maior a distância maior sua influência;
- 4) Dados matriciais que representam distâncias inversamente proporcionais, ou seja, quanto maior a distância menor sua influência.

Os tipos de parâmetros são apresentados na Figura 6.

FIGURA 6 – EXEMPLO DOS TIPOS DE PARÂMETROS



FONTE: A autora (2019).

Para melhor representar o fluxo de operações aplicadas a cada tipo de parâmetro, foram confeccionados os fluxogramas apresentados a seguir.

3.2.2.2 Dados vetoriais

A fim de evitar os erros citados na revisão de literatura, ambos os parâmetros - de natureza matricial e os parâmetros de natureza vetorial - devem ser reprojetoados todos para uma única projeção cartográfica de coordenadas métricas, uma vez que se o usuário for utilizar algum parâmetro de distância, o cálculo deste parâmetro necessita de que os dados tenham coordenadas métricas para realização da função.

Para poder realizar a álgebra de mapas, todos os parâmetros vetoriais devem ser convertidos para estrutura matricial, e todos devem cobrir continuamente a área de análise com um mesmo tamanho de pixel, desta forma, deve-se converter o vetor para arquivo de formato matricial e deve ser realizado o recorte de cada arquivo de formato matricial obtido dos parâmetros vetoriais com base na camada vetorial que determina a extensão da análise. Por fim, para que se possa utilizar a mesma escala de valores para todos os parâmetros, deve-se normalizar os valores atribuídos ao fenômeno representado pela matriz, através da divisão do dado matricial pelo valor máximo encontrado neste.

- a) Dados do tipo 'ponderado': Para este tipo de dado, as operações necessárias são as descritas acima, e que são comuns para todos os parâmetros vetoriais. É possível visualizar estas etapas na Figura 7.

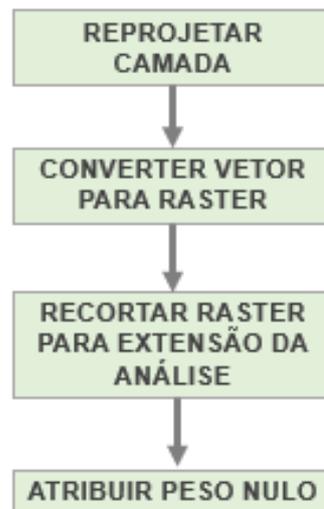
FIGURA 7 – ETAPAS OPERACIONAIS PARA DADOS VETORIAIS DO TIPO 'PONDERADO'



FONTE: A autora (2019).

- b) Dados excludente (máscara): As operações para este tipo de dado diferem-se das operações do item anterior de forma que ao invés de normalizar os valores, são atribuídas as feições representadas o valor zero, para que estas feições sejam consideradas áreas excludentes da análise. É possível visualizar estas etapas na Figura 8.

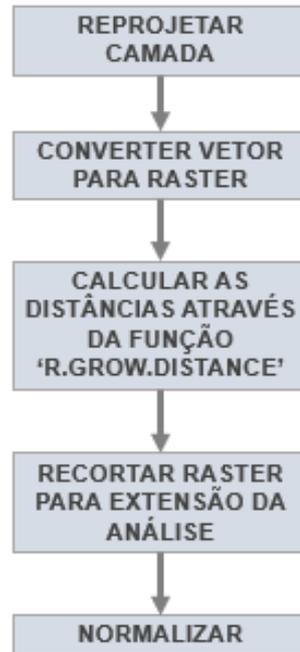
FIGURA 8 – ETAPAS OPERACIONAIS PARA DADOS VETORIAIS DO TIPO 'MÁSCARA'



FONTE: A autora (2019).

- c) Dados relativos às distâncias diretamente proporcionais: Para obter este tipo de dado, deve-se realizar os passos em comum à todos os parâmetros vetoriais, porém inserir a operação 'r.grow.distance', que é uma ferramenta do *software* QGIS cujo algoritmo calcula uma matriz de distância das feições representadas até o limite do arquivo de formato matricial de entrada. É possível visualizar estas etapas na Figura 9.

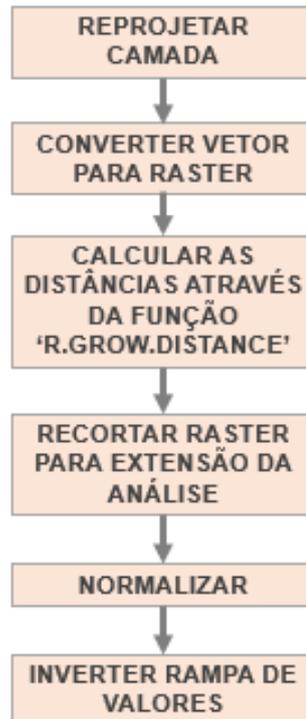
FIGURA 9 – ETAPAS OPERACIONAIS PARA DADOS VETORIAIS DO TIPO 'DISTÂNCIA DIRETAMENTE PROPORCIONAL'



FONTE: A Autora (2019).

- d) Dados relativos às distâncias inversamente proporcionais: Este tipo de dado realiza as mesmas operações do item anterior, porém, após a normalização, é feita uma diferença do valor unitário aos valores normalizados, para inverter a rampa de valores obtidos. É possível visualizar estas etapas na Figura 10.

FIGURA 10 – ETAPAS OPERACIONAIS PARA DADOS VETORIAIS DO TIPO 'DISTÂNCIA INVERSAMENTE PROPORCIONAL



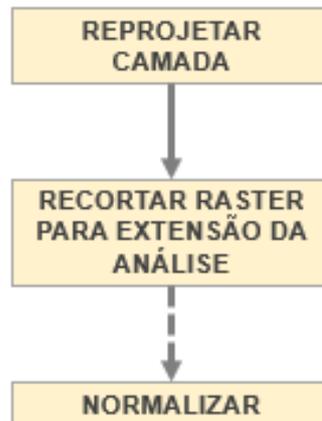
FONTE: A Autora (2019).

3.2.2.3 Dados matriciais

Como citado anteriormente, os parâmetros de natureza matricial, assim como os parâmetros de natureza vetorial, devem ser reprojitados todos para uma única projeção cartográfica métrica – como, por exemplo, a Universal Transversa de Mercator (UTM) -, assim como devem ser cortados para a extensão de análise.

- a) Dados matriciais do tipo 'ponderado': Neste caso, além das operações em comum com os dados vetoriais, existe a necessidade de verificar se o parâmetro está na mesma escala de valores que os demais, pois se não estiver será necessário realizar a normalização, através da divisão do dado matricial pelo valor máximo encontrado neste. É possível visualizar estas etapas na Figura 11.

FIGURA 11 – ETAPAS OPERACIONAIS PARA DADOS MATRICIAIS DO TIPO ‘PONDERADO’



FONTE: A Autora (2019).

- b) Dados matriciais do tipo ‘máscara’: Neste tipo de dado, as operações são mais simples, uma vez que o dado inserido já possui a classificação zerada das feições excludentes. Neste caso, os passos consistem em reprojetar a camada e realizar o recorte para extensão da análise. É possível visualizar estas etapas na Figura 12.

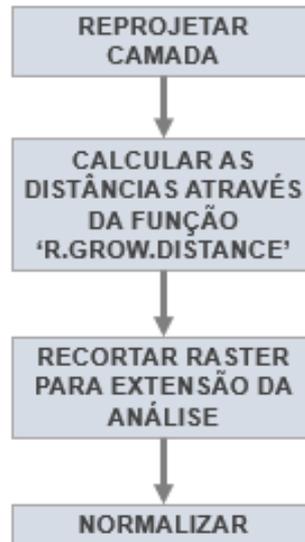
FIGURA 12 – ETAPAS OPERACIONAIS PARA DADOS MATRICIAIS DO TIPO ‘MÁSCARA’



FONTE: A Autora (2019).

- c) Dados matriciais do tipo ‘distância diretamente proporcional’. É possível visualizar estas etapas na Figura 13.

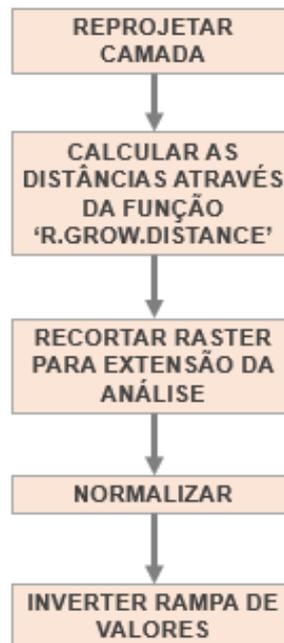
FIGURA 13 – ETAPAS OPERACIONAIS PARA DADOS MATRICIAIS DO TIPO 'DISTÂNCIA DIRETAMENTE PROPORCIONAL'



FONTE: A Autora (2019).

- d) Dados matriciais do tipo 'distância inversamente proporcional'. É possível visualizar estas etapas na Figura 14.

FIGURA 14 – ETAPAS OPERACIONAIS PARA DADOS MATRICIAIS DO TIPO 'DISTÂNCIA INVERSAMENTE PROPORCIONAL'



FONTE: A Autora (2019).

3.2.3 Projeto do sistema

O projeto do sistema consistiu na confecção de dois elementos diferentes: a confecção dos diagramas de casos de uso e a confecção de proposta de uma interface.

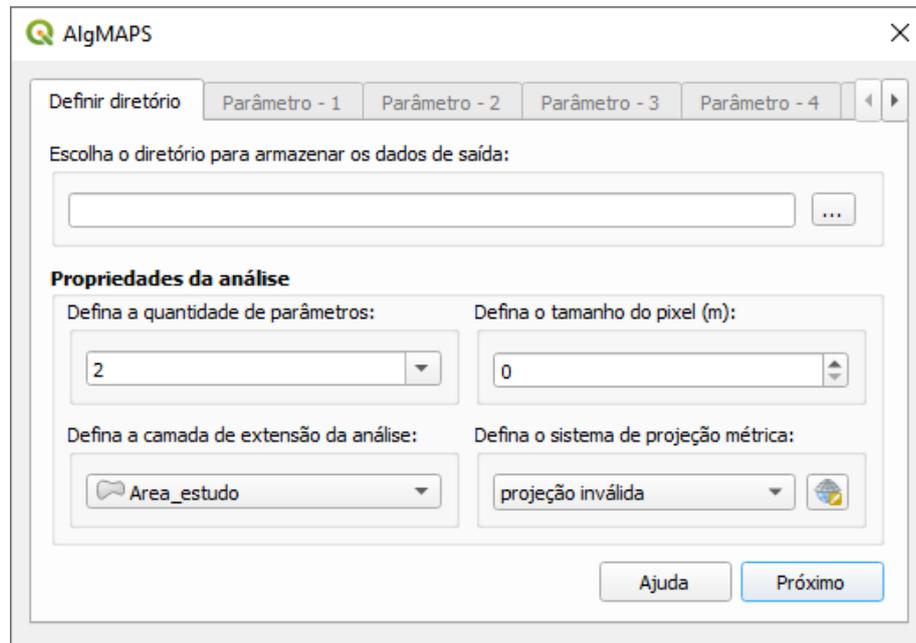
3.2.3.1 Confecção dos diagramas de casos de uso

Para a criação desta *ferramenta*, foi primeiramente necessário realizar a confecção de diagramas de casos de uso para poder entender o fluxo de ações que o usuário deverá efetuar e as funções que a *ferramenta* deverá desempenhar. Os diagramas de casos de uso simulam cenários de usabilidade e funcionalidade do sistema desenvolvido. Nesta pesquisa, a partir dos casos de uso pôde-se elaborar uma proposta da interface gráfica para a *ferramenta*. A confecção dos casos de uso foi realizada através do *software* Astah e da linguagem UML. Fez-se um diagrama para cada etapa proposta de interação do usuário com o *software*.

3.2.3.2 Proposta de interface

Através das necessidades do usuário e da definição das operações pode-se determinar uma proposta de interface para a ferramenta. Definiu-se que esta deve conter diferentes abas para separar diferentes etapas que o usuário deverá interagir. Inicialmente uma *aba* em que o usuário deverá inserir como dados de entrada o caminho de um diretório, com a finalidade de que os resultados intermediários e o resultado final possam ser salvos. Nesta mesma *aba* o usuário também deverá inserir o número de parâmetros que irá utilizar para realizar a sua análise, o tamanho do pixel que será utilizado na análise, e qual o sistema de referência e a projeção cartográfica que deverão ser utilizadas para esta análise. A primeira aba da interface proposta pode ser visualizada na Figura 15.

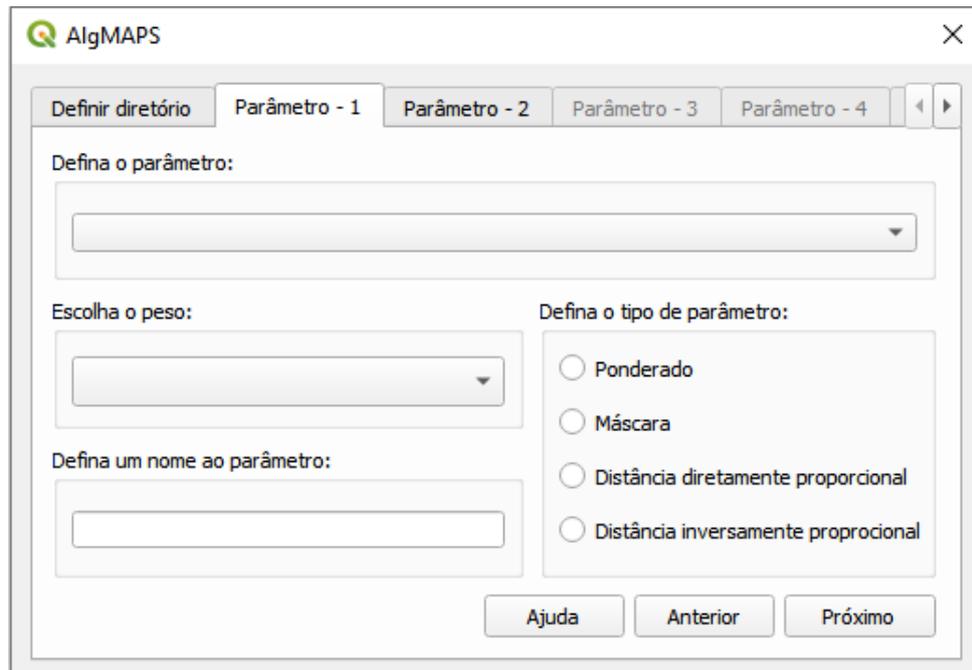
FIGURA 15 – INTERFACE GRÁFICA DA PRIMEIRA ABA DA FERRAMENTA



FONTE: A Autora (2019).

O segundo conjunto de *abas* será destinado para a inserção dos diferentes parâmetros que serão utilizados na análise. Serão criadas o mesmo número de *abas* idênticas para o valor de parâmetros escolhido na *aba* 1. Estes parâmetros poderão ter duas naturezas diferentes, sendo elas a natureza vetorial e a natureza matricial. Nesta segunda *aba*, o usuário irá inserir como dados de entrada o parâmetro em questão, o tipo de parâmetro que ele deverá ser considerado na análise – citados no item 3.2.2.1 -, a coluna de atributo cujo valor deverá ser utilizado na análise, e o usuário também deverá incluir um nome para identificar o parâmetro. A segunda aba da interface proposta pode ser visualizada na Figura 16.

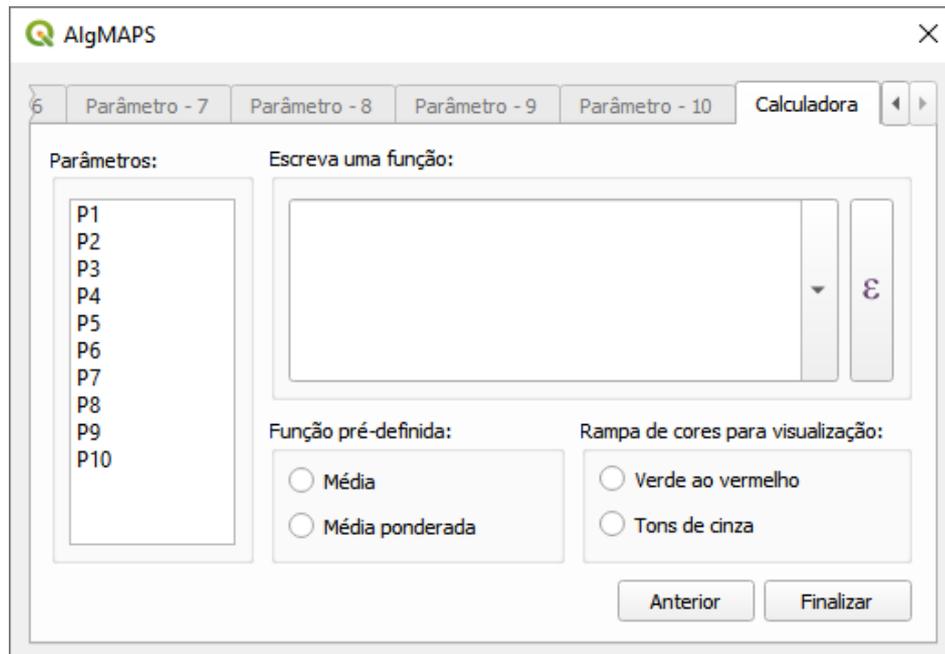
FIGURA 16 – INTERFACE GRÁFICA DO SEGUNDO GRUPO DE ABAS DA FERRAMENTA



FONTE: A Autora (2019).

Por fim, o terceiro tipo de *aba* será dedicado à escolha do usuário quanto à função algébrica que será utilizada para a operação final da álgebra de mapas. Como mencionado no item 3.2.1.3, o usuário poderá escolher entre a média ponderada ou inserir sua própria função. Nesta mesma *aba* também poderá ser escolhido entre duas opções de visualização inicial do resultado da álgebra de mapas. Para melhor usabilidade, optou-se por apresentar o nome dado aos parâmetros utilizados para mais fácil visualização do usuário. A terceira *aba* da interface proposta pode ser visualizada na Figura 17.

FIGURA 17 – INTERFACE GRÁFICA DO TERCEIRO TIPO DE ABA DA FERRAMENTA



FONTE: A Autora (2019).

3.2.4 Construção do *plugin*, construção da interface gráfica e implementação através de *Python*

A implementação do projeto de sistema foi realizada primeiramente com a criação da ferramenta utilizando o *Plugin Builder* no QGIS, em seguida editando os arquivos interface gráfica padrão utilizando o *software* Qt Designer. As operações foram modeladas através da ferramenta ‘modelador gráfico’ do *software* e por fim, a interface gráfica e os modelos gráficos foram implementados através da linguagem de programação *Python*.

3.2.4.1 Criação do *plugin* utilizando o complemento *Plugin Builder* no QGIS

Através dos casos de uso, pode-se iniciar a construção das interfaces, utilizando o *plugin Plugin Builder*. O primeiro passo a ser realizado foi instalar o complemento *Plugin Builder*, que já está disponível no próprio *software*, mas que requer sua ativação. O *Plugin Builder* é um complemento que possibilita a criação de novos *plugins* dentro do próprio *software*, através de um *plugin* padrão (molde com estrutura pré-definida que facilita o desenvolvimento criação do conteúdo), que deve ser incrementado com codificação em linguagem *Python*, de forma a promover sua

funcionalidade. Após ter sido ativado, um ícone do complemento é adicionado a barra de ferramentas do QGIS. Ao acessar o ícone gerado, é introduzida uma janela de preenchimento de dados necessários para a geração do *plugin*. Após preencher todas as informações requeridas e escolher um diretório próprio, são criadas várias componentes compostas por diferentes arquivos, que devem ser editados para a confecção do *plugin*. Existe a necessidade de se compilar, através da linha de comando, um script referente à compilação dos arquivos de formato *qrc* através do pacote *pyrcc5*. Após este passo, através do repositório de complementos do QGIS, pode-se instalar o *plugin* criado.

3.2.4.2 Criação e edição das interfaces gráficas da ferramenta através do Qt Designer

A personalização dos modelos de interface gráfica, de maneira que atendam aos requisitos apresentados nos diagramas de casos de uso, é feita por meio do *software* Qt Designer. Ao acessar-se o *software*, através da janela inicial, abre-se o arquivo de extensão *.ui*, criado automaticamente através do *Plugin Builder*. A interface 'molde' é aberta, e é em cima desta que é realizada a edição com os *widgets* necessários. A personalização da interface é realizada arrastando-os da barra de ferramentas localizada na parte esquerda do *software* para dentro da janela da interface. Com a definição do melhor design e disposição dos elementos necessários, assim como a edição das propriedades dos *widgets*, pode-se concluir a etapa salvando o resultado.

3.2.4.3 Confecção dos modelos através do modelador gráfico do QGIS

Parte da codificação deste *plugin* foi facilitada pelo uso de *scripts* de modelos fornecidos pela ferramenta de Modelador Gráfico que o *software* QGIS possui. Esta ferramenta permite a modelagem de uma série de operações que devem ser realizadas em sequência para se obter um determinado resultado. O modelador gráfico permite que uma sequência de análises possa ser resumida em apenas um processamento, economizando tempo e esforço. O modelador possui uma área de trabalho onde é estruturado o modelo e o seu fluxo de atividades/operações. O modelo é confeccionado a partir da definição de dados de entradas, do fluxo de trabalho e dos dados de saída. A documentação do QGIS explica os dois passos:

“ 1. Definição dos dados entrada necessários. Estes dados de entrada serão adicionados na janela de parâmetros, para que o utilizador possa configurar os seus valores quando executa o modelo. O modelo por si é um algoritmo, portanto os parâmetros da janela é gerado automaticamente como acontece em todos os algoritmos disponíveis na infraestrutura de processamento.
2. Definição do fluxo de trabalho. Usando os dados de entrada do modelo, o fluxo de trabalho é definido adicionando algoritmos e seleccionando como vão usar esses ficheiros de entrada ou de saída gerados por outros algoritmos que já existem no modelo”

Através desta ferramenta, foram modelados os processamentos necessários para as análises espaciais listadas no item 3.2.2.

3.2.4.4 Codificação e implementação da funcionalidade

Após a edição das interfaces, foi utilizada a linguagem *Python* para a implementação das análises moldadas através do Modelador Gráfico com a interface gráfica produzida através do Qt Designer.

3.2.5 Exemplo de aplicação

Com o intuito de verificar o resultado das operações implementadas, aplicou-se a metodologia de um trabalho acadêmico para servir de exemplo de aplicação da ferramenta. A comparação foi realizada em relação ao resultado obtido realizando as operações através da ferramenta desenvolvida neste trabalho e através das ferramentas do software. A fins de comparação, foram anotados os tempos médios para realização de cada modo de operação.

A primeira aplicação se baseou-se no trabalho de conclusão de curso da aluna Isadora Barioni (2018), do curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura da Universidade Federal do Paraná (UFPR), cujo objetivo consistiu no desenvolvimento de uma análise espacial que permita identificar as potenciais áreas para instalação de novas Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) no estado do Paraná, utilizando-se da álgebra de mapas. Utilizou-se da mesma metodologia utilizada neste TCC para a aplicação da ferramenta. Neste teste, foi utilizada a função algébrica de média ponderada para obter-se o resultado desejado. A tabela 2 informa os dados utilizados, assim como à qual tipo de parâmetro cada dado foi utilizado.

4 RESULTADOS

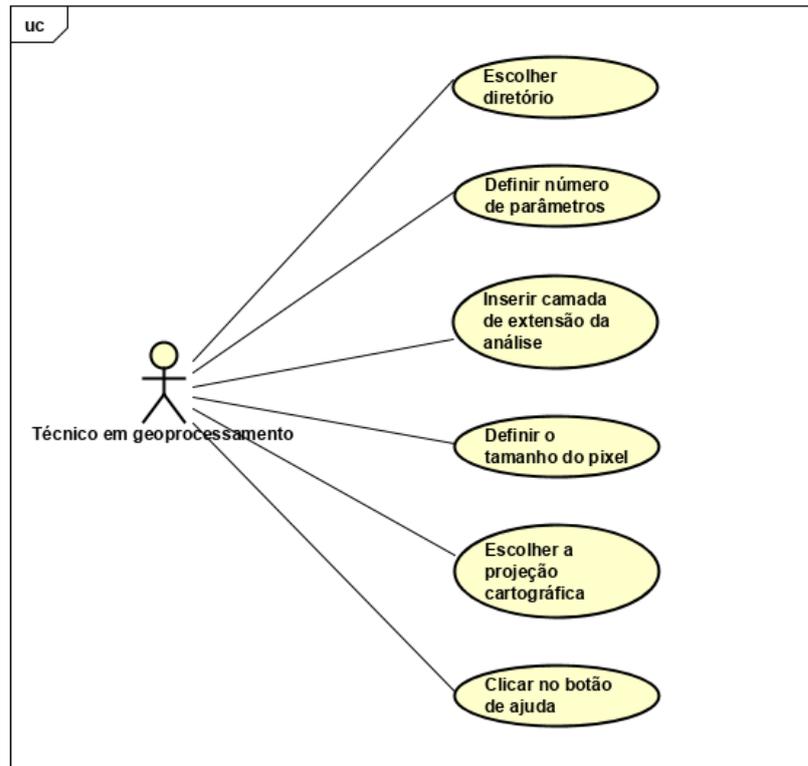
Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos através da metodologia abordada neste trabalho.

4.1 PROJETO DO SISTEMA

Com base nos requisitos identificados através da pesquisa do estado da arte realizada pode-se confeccionar os diagramas de casos de uso para as três interfaces gráficas propostas.

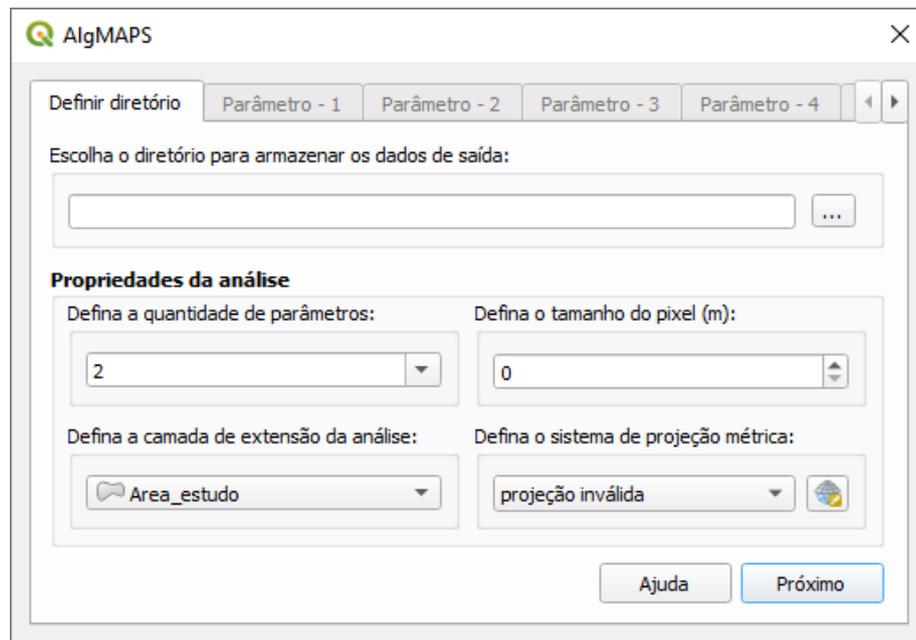
O diagrama de caso de uso da primeira *aba* do sistema (Figura 18) representa as funcionalidades de escolha de um diretório, com a finalidade de que os resultados intermediários e o resultado final possam ficar salvos nele. Nesta mesma *aba* há a funcionalidade do usuário inserir o número de parâmetros que irá utilizar para realizar a sua análise, assim como a escolha do tamanho do pixel, a escolha do sistema de referência e a projeção cartográfica que deverão ser utilizadas para esta análise. Além destas escolhas, o usuário deverá determinar a camada vetorial que indica a extensão da análise. Por fim, o usuário também tem a opção de clicar em um botão caso queira ler instruções de auxílio de como utilizar esta ferramenta. A Figura 19 representa a interface gráfica referente ao diagrama explicitado na Figura 18.

FIGURA 18 – DIAGRAMA DE CASO DE USO PARA A PRIMEIRA ABA DA FERRAMENTA



FONTE: A Autora (2019).

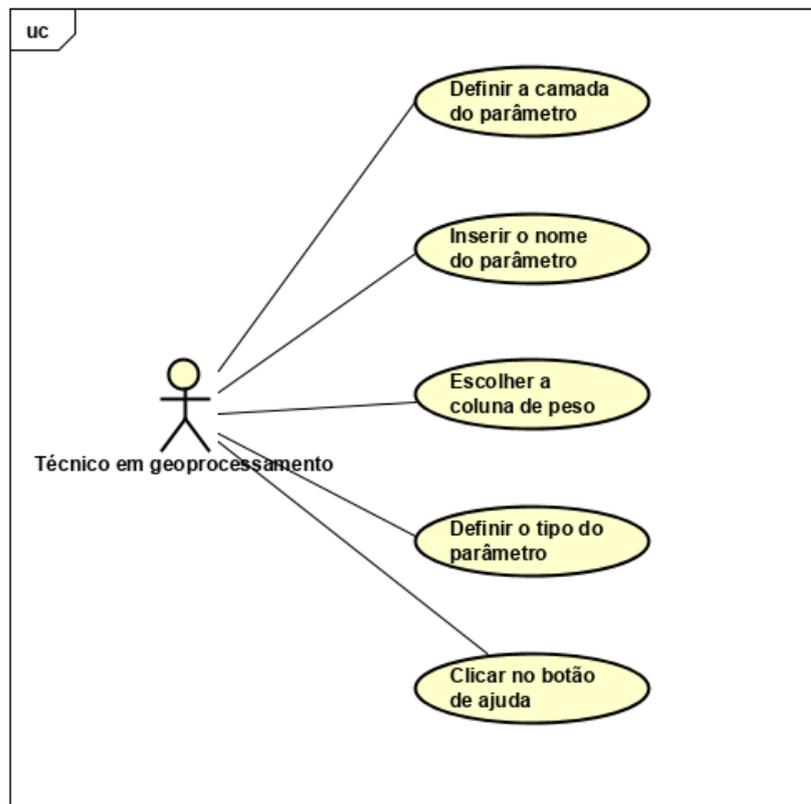
FIGURA 19 – INTERFACE GRÁFICA DA PRIMEIRA ABA DA FERRAMENTA



FONTE: A Autora (2019).

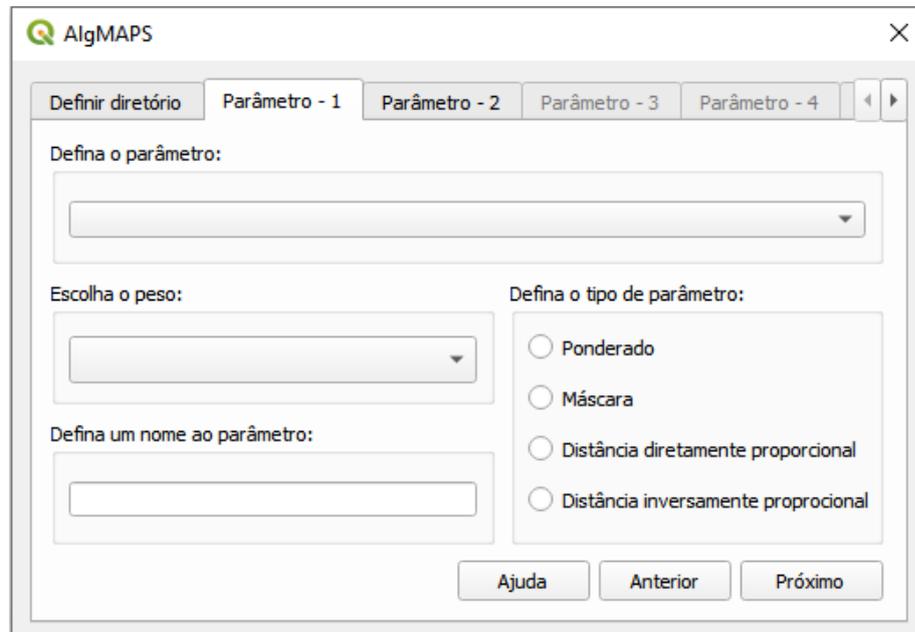
Para o segundo conjunto de *abas*, que se referem a inserção dos dados de entrada dos parâmetros da análise, o diagrama de caso de uso (Figura 20) apresenta a funcionalidade do usuário de inserir como dados de entrada o parâmetro em questão, escolher qual o tipo de parâmetro para o qual o dado será utilizado, a coluna de atributo cujo valor deverá ser utilizado na análise, e o usuário também deverá incluir um nome para identificar o parâmetro. Há também a funcionalidade em comum em todas as *abas* que é a de clicar um botão para ler instruções que auxiliam no uso da ferramenta. A Figura 21 representa a interface gráfica referente ao diagrama explicitado na Figura 20.

FIGURA 20 – DIAGRAMA DE CASO DE USO PARA O SEGUNDO CONJUNTO DE ABAS DA FERRAMENTA



FONTE: A Autora (2019).

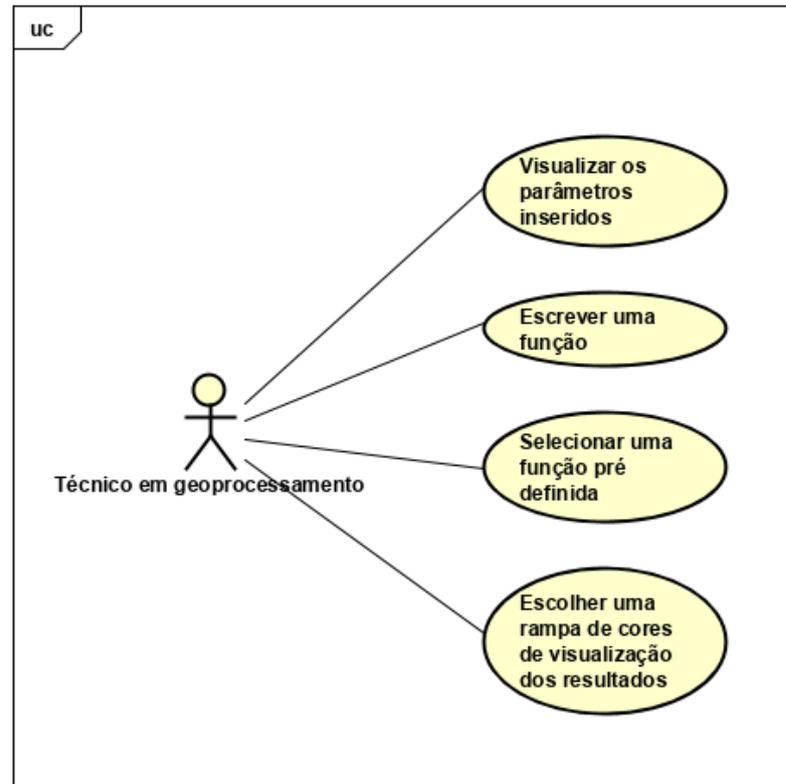
FIGURA 21 – INTERFACE GRÁFICA DO SEGUNDO CONJUNTO DE ABAS DA FERRAMENTA



FONTE: A Autora (2019).

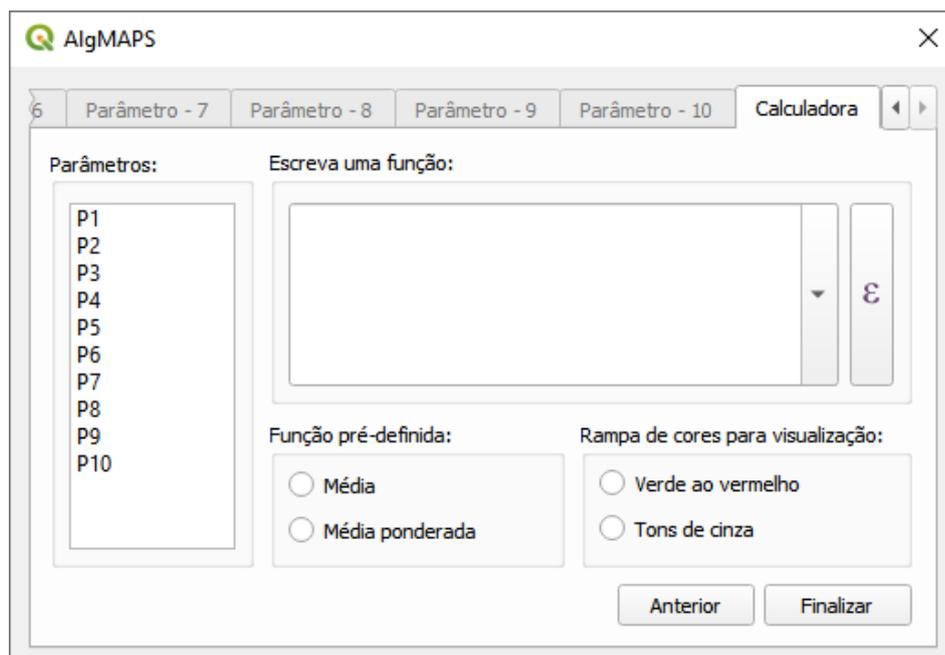
Por fim, o terceiro diagrama de classes (Figura 22) representa a última *aba* apresentada no sistema, que tem como funcionalidade principal a escolha e/ou inserção da função algébrica utilizada na análise. O usuário tem a opção de escolher entre duas funções pré-definidas ou inserir uma função algébrica. Também é uma funcionalidade do usuário visualizar os parâmetros inseridos, assim como escolher uma rampa de visualização do resultado final e clicar no botão de auxílio ao uso da ferramenta. A Figura 23 representa a interface gráfica referente ao diagrama explicitado na Figura 22.

FIGURA 22 – DIAGRAMA DE CASO DE USO PARA O TERCEIRO TIPO DE ABA DA FERRAMENTA



FONTE: A Autora (2019).

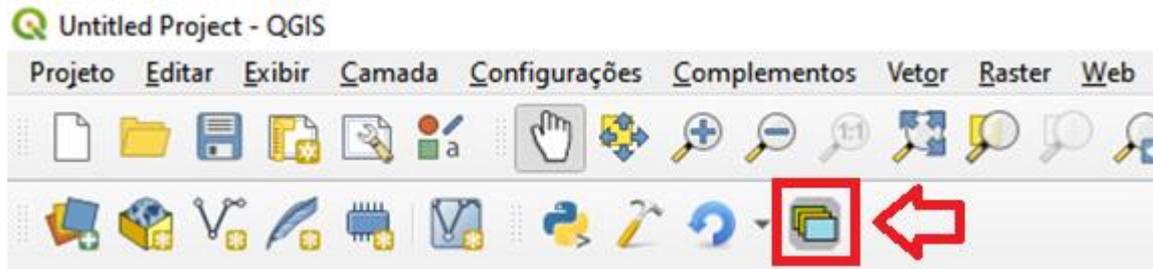
FIGURA 23 – INTERFACE GRÁFICA DO TERCEIRO TIPO DE ABA DA FERRAMENTA



FONTE: A Autora (2019).

Além das *abas*, a interface gráfica também é composta do ícone (Figura 24) que dá acesso a ela no *software*, e que foi customizado.

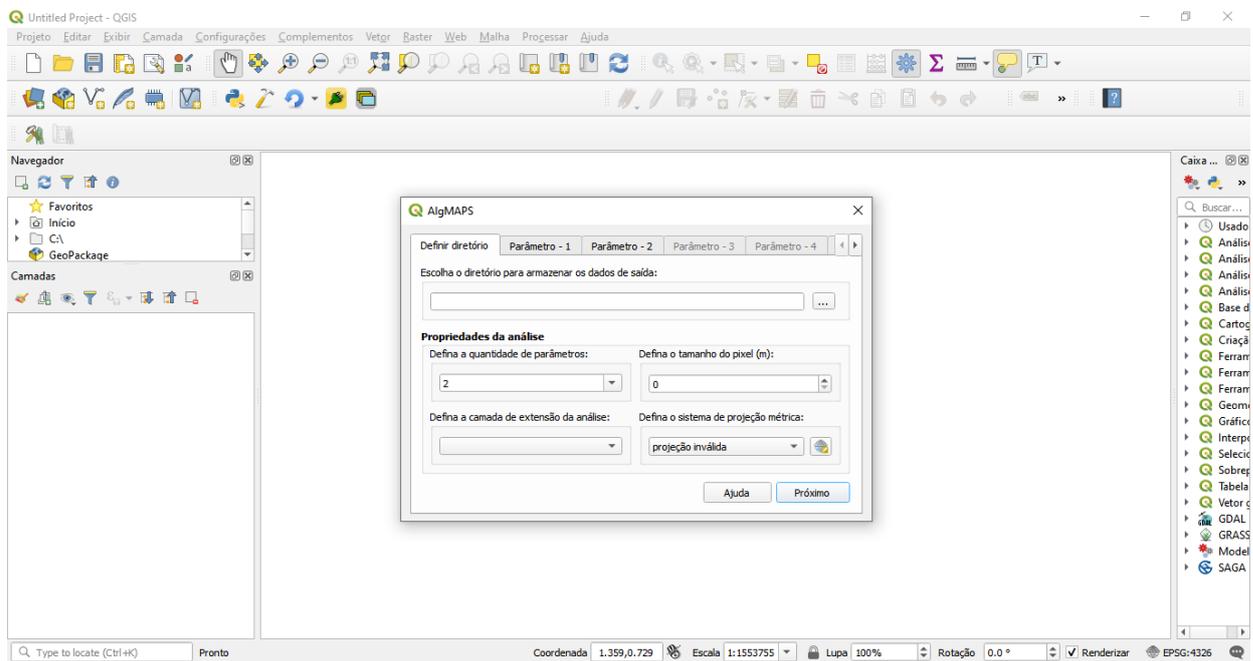
FIGURA 24 – ÍCONE DA FERRAMENTA NA BARRA DE FERRAMENTAS DO SOFTWARE QGIS



FONTE: A Autora (2019).

A interface da ferramenta desenvolvida dentro do software é apresentada na Figura 25.

FIGURA 25 – INTERFACE DA FERRAMENTO NO SOFTWARE



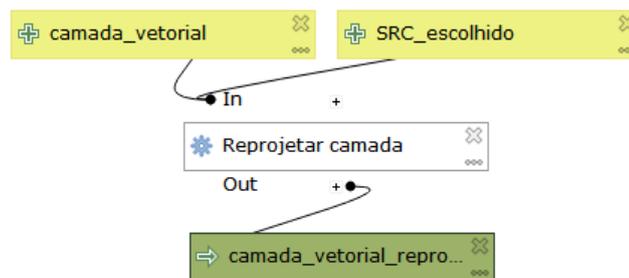
FONTE: A Autora (2019).

4.2 MODELOS

Como resultado intermediário foram obtidos os modelos que realizam as operações do sistema, obtidos através do modelador gráfico. Abaixo são apresentados os modelos de forma sequencial das operações do sistema.

Primeiramente, o modelo 1 (Figura 26), refere-se à atividade de reprojetar a camada de extensão da análise para o sistema de projeção que o usuário escolher. O resultado de saída deste modelo vai ser utilizado em todos os demais passos, logo, para reduzir o processamento repetido em todos os demais modelos, fez-se esta operação apenas uma só vez.

FIGURA 26 – MODELO QUE REPROJETA A CAMADA DE EXTENSÃO DA ANÁLISE

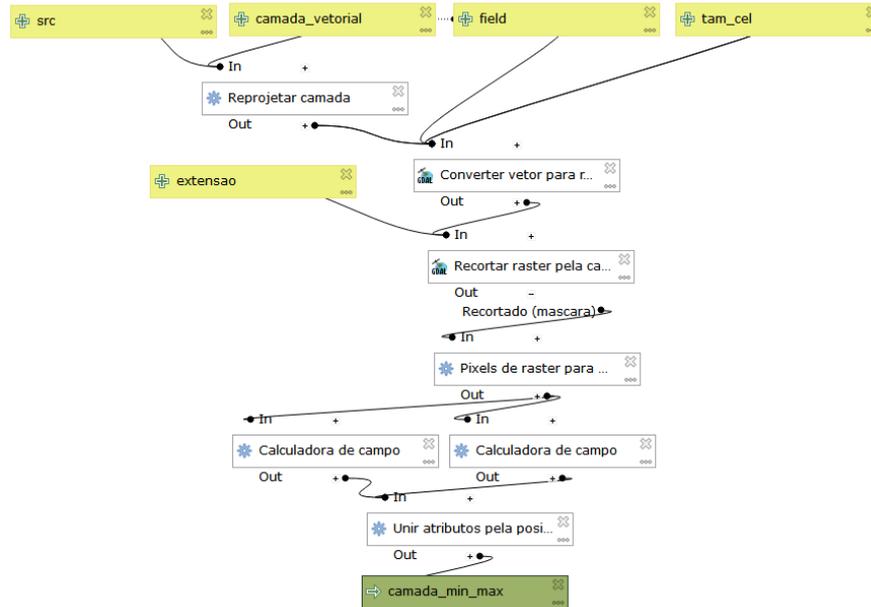


FONTE: A Autora (2019).

Em seguida, as operações variam de acordo com o tipo do parâmetro e com a natureza. As operações realizadas para obter-se os parâmetros do tipo 'ponderados' de dados, iniciam-se com a atividade de reprojetar a camada vetorial para o sistema de projeção da análise escolhido pelo usuário, em seguida, converte-se a camada vetorial para camada matricial utilizando como dados de entrada a coluna do valor que será atribuído a cada pixel da imagem e o tamanho da célula em unidades georreferenciadas. Em seguida, realiza-se o recorte para a camada de extensão da análise, e em sequência, para obter-se os valores máximos e mínimos deste parâmetro numa camada vetorial, utiliza-se o algoritmo de 'pixels de arquivo de formato matricial para polígonos' e calcula-se o máximo e o mínimo através da calculadora de campo e faz-se a união através da função 'unir atributos pela

localização' para obter-se os dois atributos (valor máximo e valor mínimo) em apenas uma única camada. Estas operações são representadas na Figura 27.

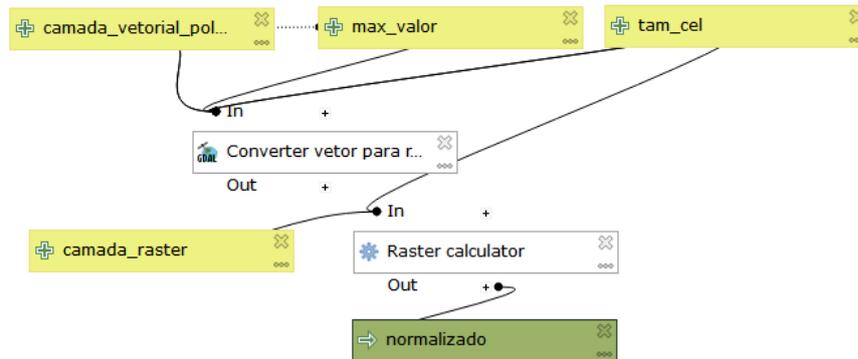
FIGURA 27 – MODELO GRÁFICO PARA OPERAÇÕES REALIZADAS PARA PARÂMETROS DE NATUREZA VETORIAL DO TIPO PONDERADO



FONTE: A Autora (2019).

Em seguida, faz-se a análise dos valores máximos e mínimos para verificar a necessidade da normalização dos dados. A normalização do arquivo de formato matricial obtido no modelo anterior quando necessária é feita através das operações apresentadas no modelo abaixo, utiliza-se o valor máximo e o tamanho da célula para converter a camada vetorial que possui os valores de máximo e mínimo para camada matricial, utilizando valor máximo como atributo para as feições. Faz-se através da calculadora de campo a divisão do arquivo de formato matricial obtido no modelo anterior com o arquivo de formato matricial que representa o valor máximo do parâmetro. Por fim, obtém-se um arquivo de formato matricial cujos valores variam de 0 a 1, ou seja, um arquivo de formato matricial normalizado. Estas operações são representadas na Figura 28.

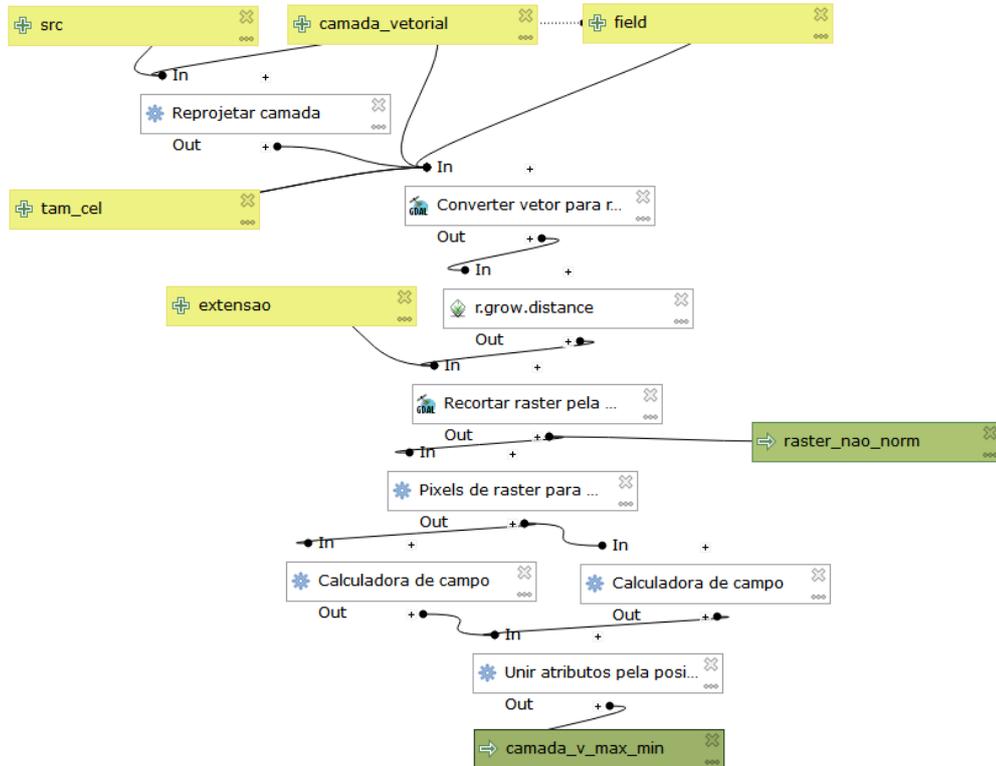
FIGURA 28 – MODELO GRÁFICO PARA NORMALIZAÇÃO DE ARQUIVO DE FORMATO MATRICIAL



FONTE: A Autora (2019).

Quanto aos dados de natureza vetorial do tipo distâncias diretamente proporcionais, as operações realizadas consistem das atividades de reprojetar a camada vetorial para a projeção escolhida, para posterior conversão desta para uma camada matricial, utilizando os valores de tamanho do pixel. Posteriormente faz-se uso da função 'r.grow.distance' para obter uma matriz de distâncias, e em seguida realiza-se o recorte desta matriz para a área de extensão da análise. Para obter os valores máximos e mínimos para posterior normalização - se for necessário - utiliza-se a função de 'pixels de arquivo de formato matricial para polígono', calcula-se dois vetores que contenham em seus atributos os valores máximos e mínimos dos parâmetros e faz-se a união deles através do algoritmo de 'unir atributos pela localização'. Estas operações são representadas na Figura 29.

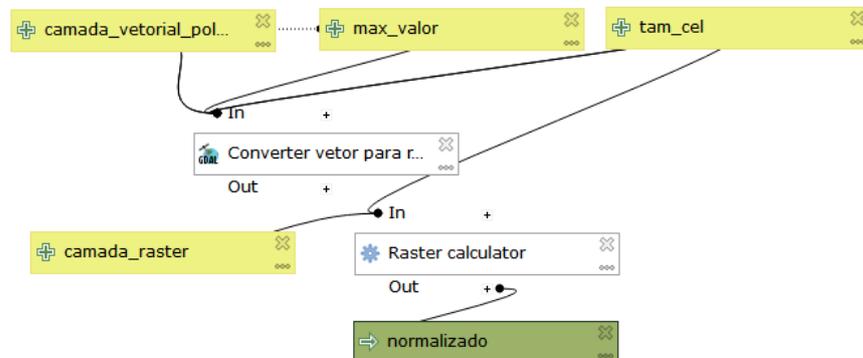
FIGURA 29 – MODELO GRÁFICO PARA OPERAÇÕES REALIZADAS PARA PARÂMETROS DE NATUREZA VETORIAL DO TIPO DISTÂNCIAS DIRETAMENTE PROPORCIONAIS



FONTE: A Autora (2019).

Em seguida, quando necessário normalizar, realiza-se os mesmos procedimentos citados no modelo de normalização citado anteriormente. Estes procedimentos são apresentados na Figura 30.

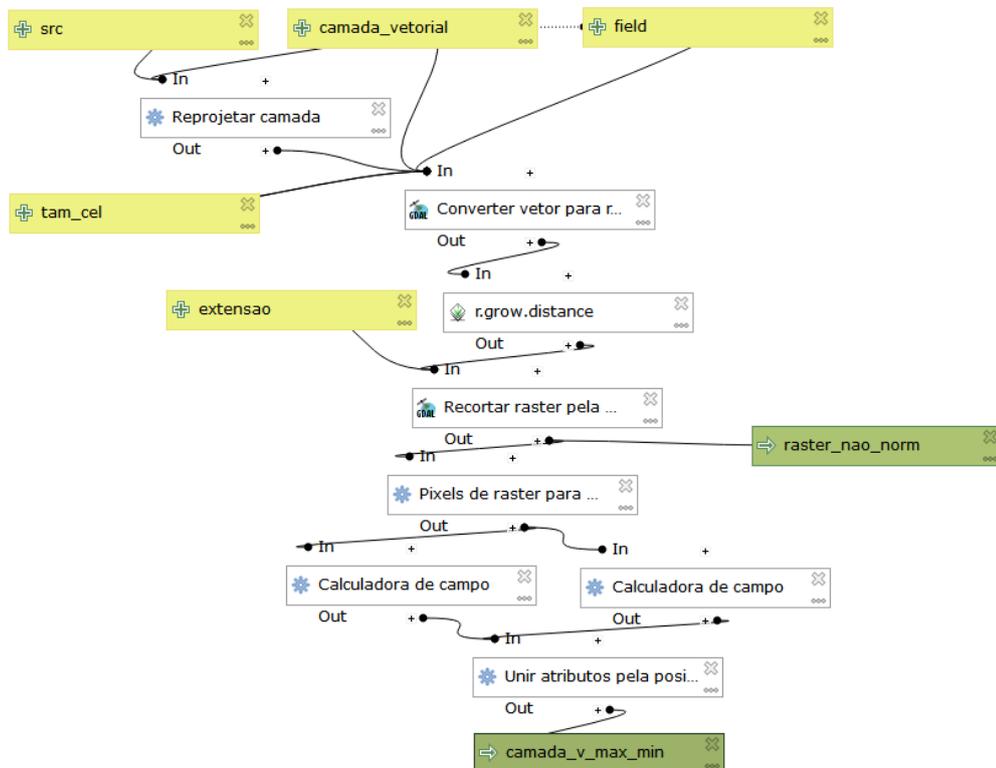
FIGURA 30 – MODELO GRÁFICO PARA OPERAÇÕES REALIZADAS PARA NORMALIZAÇÃO DE ARQUIVO DE FORMATO MATRICIAL



FONTE: A Autora (2019).

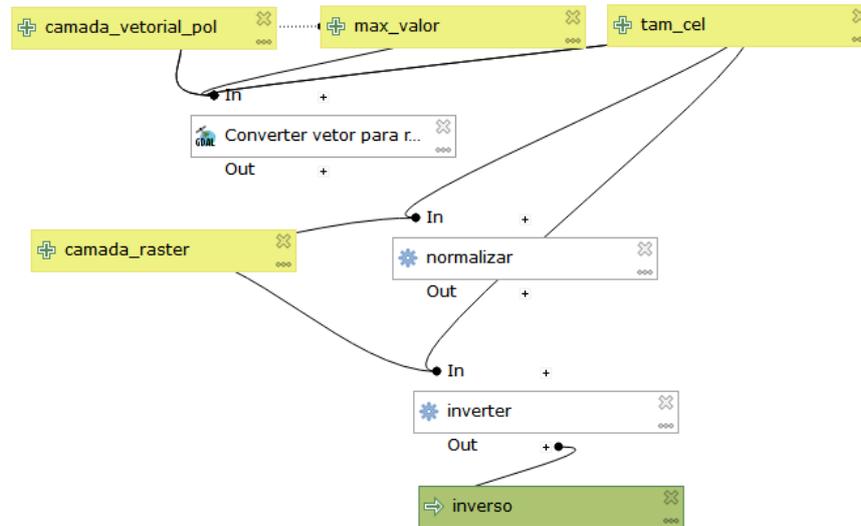
Quando os dados são de natureza vetorial e do tipo do parâmetro de distâncias inversamente proporcionais, realiza-se os mesmos procedimentos que os utilizados para dados de natureza vetorial e parâmetro de distâncias diretamente proporcionais, mas na última etapa, a de normalização, faz-se a diminuição dos valores ao valor unitário (1) através da calculadora de campo. Estas operações são representadas na Figura 31 e Figura 32.

FIGURA 31 – MODELO GRÁFICO PARA OPERAÇÕES REALIZADAS PARA PARÂMETROS DE NATUREZA VETORIAL DO TIPO DISTÂNCIAS INVERSAMENTE PROPORCIONAIS



FONTE: A Autora (2019).

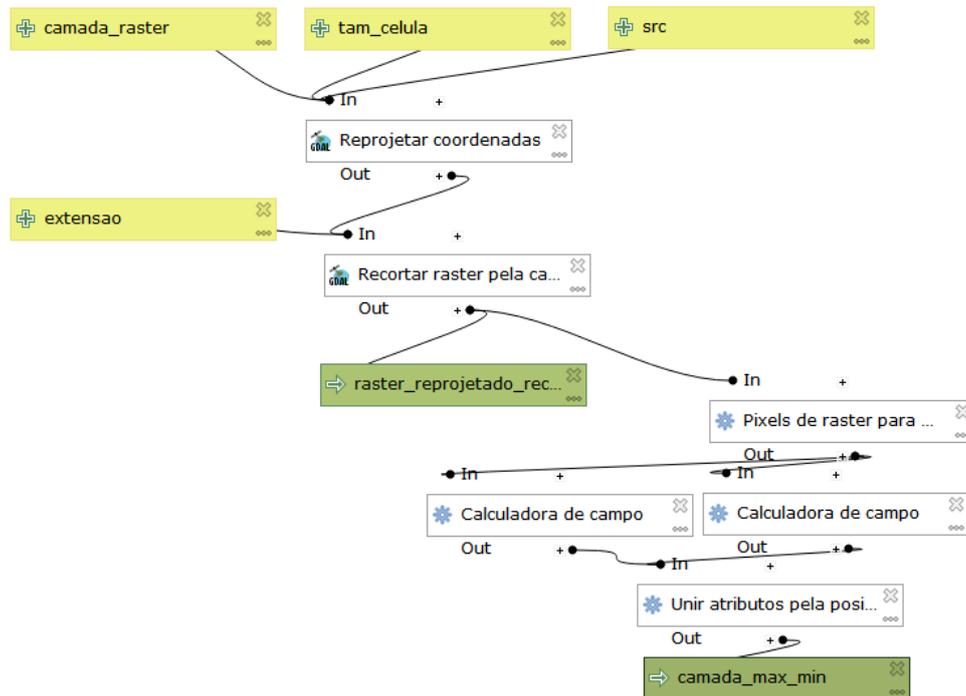
FIGURA 32 – MODELO GRÁFICO PARA OPERAÇÕES REALIZADAS PARA NORMALIZAÇÃO DE ARQUIVO DE FORMATO MATRICIAL PARA O TIPO DE PARÂMETRO ‘DISTÂNCIAS INVERSAMENTE PROPORCIONAIS’



FONTE: A Autora (2019).

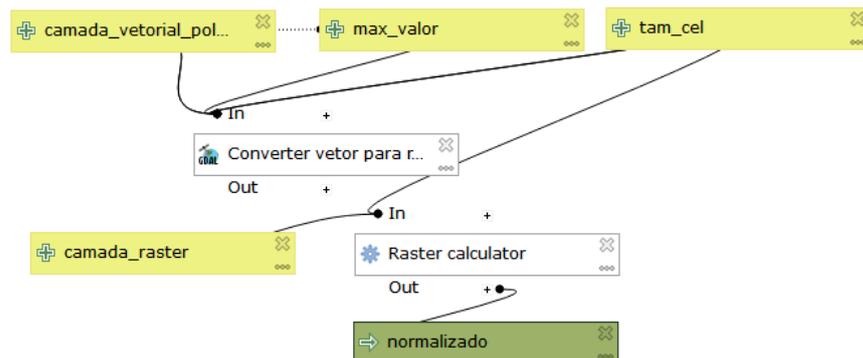
Quanto aos dados de entrada de natureza matricial, tanto para o tipo ‘ponderado’ de parâmetro quanto para o tipo ‘máscara’, as operações seguem a seguintes etapas: reprojeter as coordenadas para o sistema de referência e projeção cartográfica da análise, recortar o resultado deste passo para extensão de camada. Quando necessário normalizar, realizar os mesmos procedimentos citados nos modelos anteriores referentes ao cálculo de valores máximos e mínimos do arquivo de formato matricial através da criação de uma camada de polígono para cada pixel do arquivo de formato matricial. Em seguida, realiza-se os mesmos passos de normalização mencionados nos modelos acima. Estas operações são representadas na Figura 33 e Figura 34.

FIGURA 33 – MODELO GRÁFICO PARA OPERAÇÕES REALIZADAS PARA PARÂMETROS DE NATUREZA MATRICIAL DOS TIPOS 'PONDERADO' OU 'MÁSCARA'



FONTE: A Autora (2019).

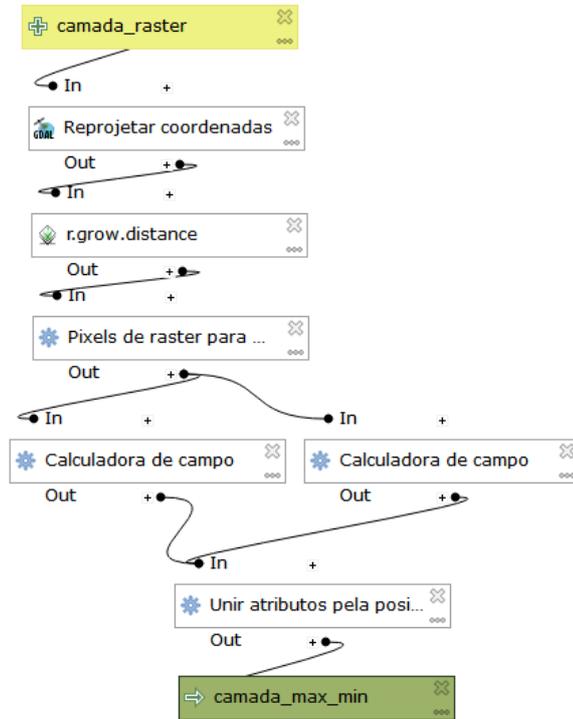
FIGURA 34 – MODELO GRÁFICO PARA OPERAÇÕES REALIZADAS PARA NORMALIZAÇÃO DE ARQUIVO DE FORMATO MATRICIAL



FONTE: A Autora (2019).

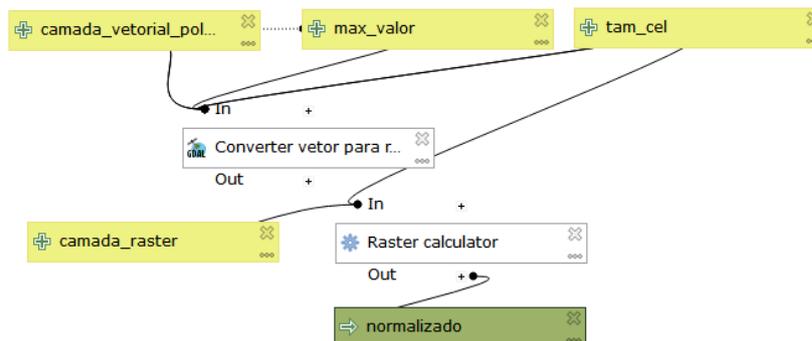
Caso os dados matriciais de entrada sejam referentes aos parâmetros de distância diretamente e/ou inversamente proporcionais, segue-se uma sequência de operações similar aos dados de natureza vetorial. Estas operações são representadas na Figura 35, Figura 36 e Figura 37.

FIGURA 35 – MODELO GRÁFICO PARA OPERAÇÕES REALIZADAS PARA PARÂMETROS DE NATUREZA MATRICIAL DO TIPO DISTÂNCIAS DIRETAMENTE PROPORCIONAIS



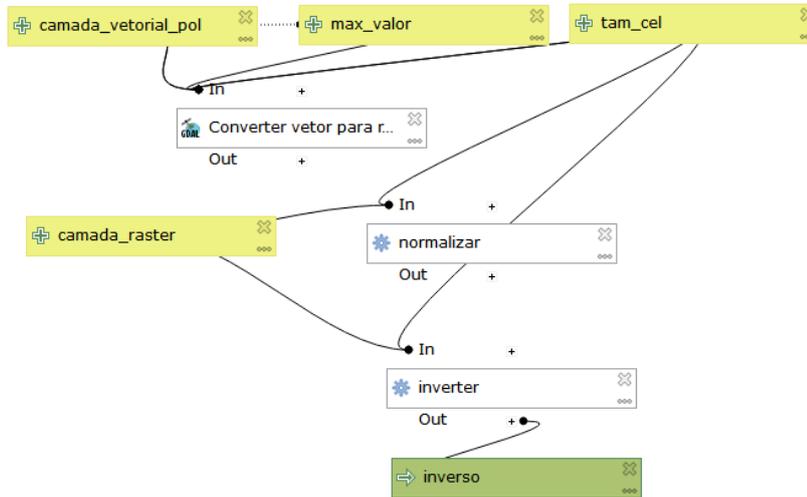
FONTE: A Autora (2019).

FIGURA 36 – MODELO GRÁFICO PARA OPERAÇÕES REALIZADAS PARA NORMALIZAÇÃO DE ARQUIVO DE FORMATO MATRICIAL PARA O TIPO DE PARÂMETRO 'DISTÂNCIAS DIRETAMENTE PROPORCIONAIS'



FONTE: A Autora (2019).

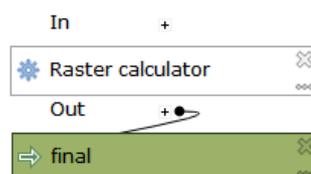
FIGURA 37 – MODELO GRÁFICO PARA OPERAÇÕES REALIZADAS PARA NORMALIZAÇÃO DE ARQUIVO DE FORMATO MATRICIAL PARA O TIPO DE PARÂMETRO ‘DISTÂNCIAS INVERSAMENTE PROPORCIONAIS’



FONTE: A Autora (2019).

Por fim, utiliza-se um modelo final para fazer uso da ferramenta ‘raster calculator’ para adicionar a função algébrica que o usuário deseja realizar. Seja esta função uma das pré-definidas ou não. Estas operações são representadas na Figura 38.

FIGURA 38 – MODELO GRÁFICO PARA OPERAÇÃO DA ÁLGEBRA DE MAPAS



FONTE: A Autora (2019).

4.3 CÓDIGO/FERRAMENTA E MANUAL

O resultado final deste trabalho consiste em uma ferramenta composta de conjunto de arquivos que incluem a implementação dos modelos gráficos gerados e a interface gráfica. Foi também elaborado um manual de instalação e utilização da ferramenta para auxiliar o usuário no uso desta. Os arquivos para instalação da

ferramenta junto do manual estão disponibilização na plataforma de hospedagem de código-fonte com controle de versão, GitHub, no *link*: github.com/jmhreczuck/Plugin-AlgebraMAP.

4.4 RESULTADOS DOS EXEMPLOS DE APLICAÇÕES

O resultado obtido através do exemplo de aplicação (item 3.2.5.1) foram idênticos, porém, enquanto a operação utilizando a ferramenta desenvolvida neste trabalho durou cerca de doze (12) a quinze (15) minutos, a operação através das ferramentas do software demorou de quarenta e cinco (45) a cinquenta (50) minutos. Esta aplicação levou em consideração para a álgebra de mapas 9 parâmetros – apenas um a menos em relação ao máximo que a ferramenta permite utilizar -, e o uso da ferramenta permitiu a redução de aproximadamente trinta (30) minutos, se comparada às operações feitas através das ferramentas providas pelo software. Os parâmetros utilizados são apresentados na Tabela 3.

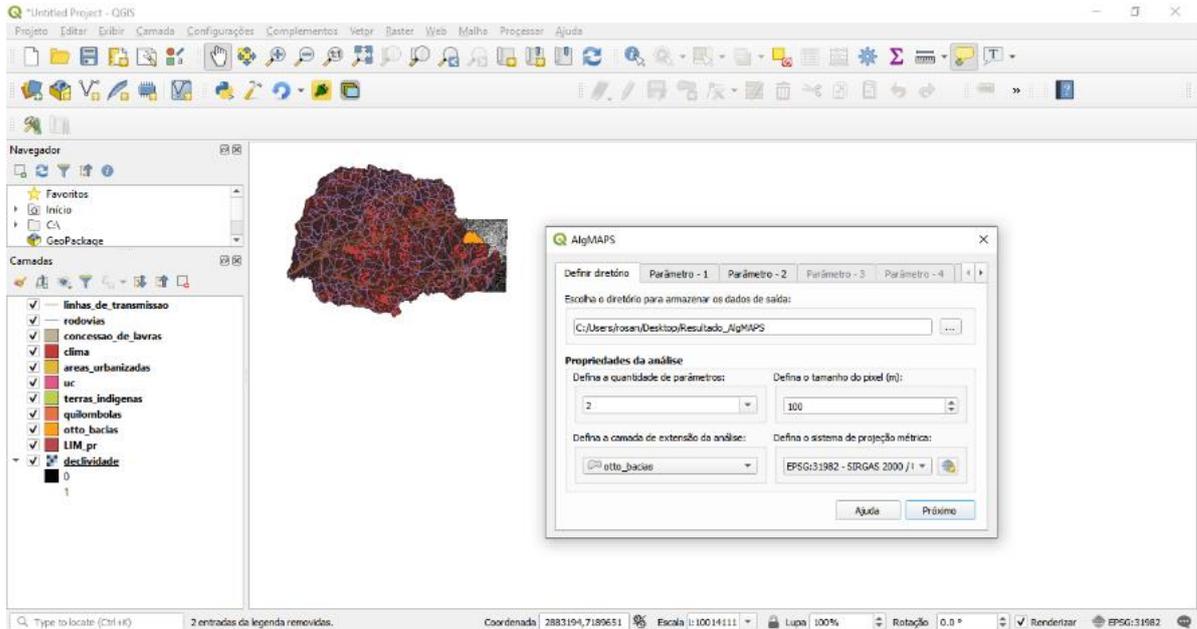
TABELA 3 – PARÂMETROS DE ENTRADA DO EXEMPLO DE USO

TESTE 1			
Dado	Estrutura dos dados	Primitiva gráfica	Tipo de dado
Mapa Climático do Estado do Paraná	shapefile	polígonos	Dados ponderados
Dados de Declividade	geotiff	-	Dados ponderados
Linhas de Transmissão	shapefile	linhas	Distância diretamente proporcional
Rodovias	shapefile	linhas	Distância diretamente proporcional
Áreas urbanizadas	shapefile	polígonos	Distância diretamente proporcional
Unidades de Conservação	shapefile	polígonos	Dados ponderados
Regiões Quilombolas	shapefile	polígonos	Máscara
Terras Indígenas	shapefile	polígonos	Máscara
Dados de Mineração	shapefile	polígonos	Máscara

FONTE: A Autora (2019).

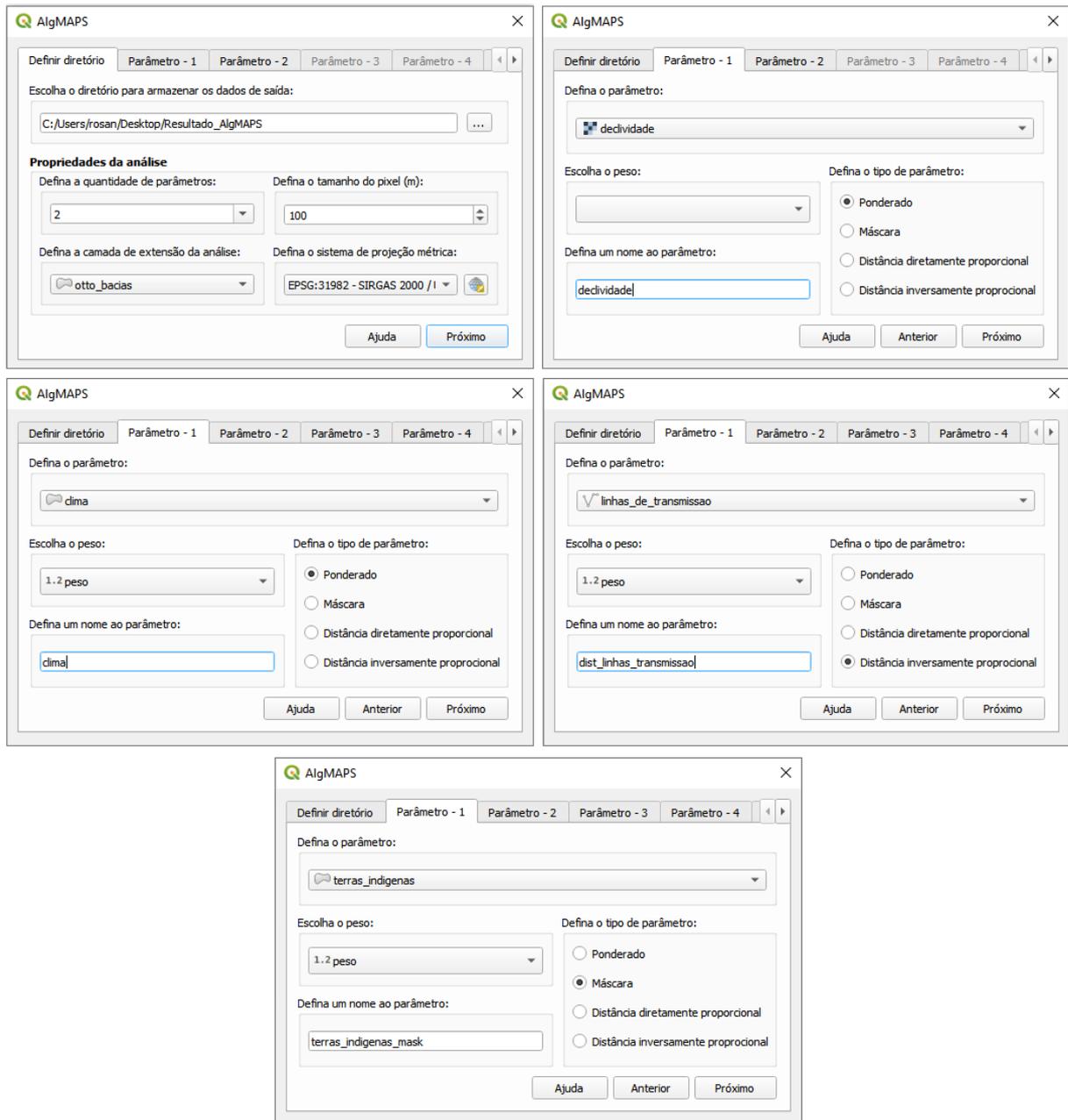
A Figura 39 apresenta a interface dentro do *software* quando aplicado o exemplo de uso. A Figura 40 apresenta o exemplo da inserção dos parâmetros e dos dados de entrada da aplicação na ferramenta, de acordo com a TABELA 03.

FIGURA 39 – INTERFACE GRÁFICA APLICADA AO EXEMPLO DE USO



FONTE: A Autora (2019).

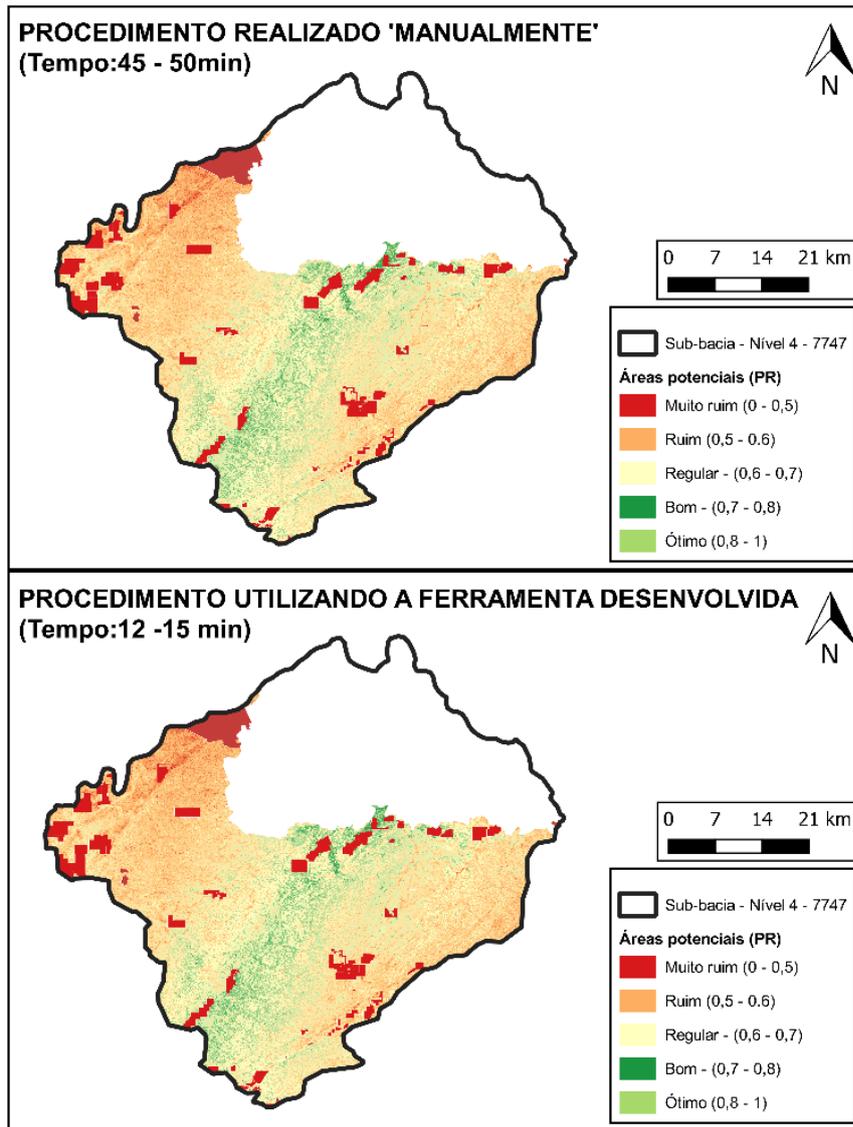
FIGURA 40 – INSERÇÃO DOS PARÂMETROS DO EXEMPLO DE USO



FONTE: A Autora (2019).

Os resultados obtidos para resultados obtidos para este exemplo de aplicação são apresentados na Figura 41.

FIGURA 41 – COMPARAÇÃO ENTRE OS DOIS MÉTODOS DE APLICAÇÃO



FONTE: A Autora (2019).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo desenvolver uma ferramenta que funcione no software de Sistema de Informação Geográfica (SIG) QGIS e que facilite e automatize os procedimentos necessários para a realização de uma álgebra de mapas, permitindo com que os usuários deste tipo de operações realizem as análises multicritério de fenômenos geográficos para solução de problemas e na tomada de decisão. O objetivo foi alcançado, uma vez que se obteve como resultado final uma ferramenta que atende aos objetivos propostos, e que ao ser aplicado a um exemplo de utilização, obteve-se resultados satisfatórios.

O desenvolvimento desta ferramenta utilizou-se dos conceitos da Engenharia de Requisitos, porém, não foi possível neste trabalho a realização de testes para validar o conjunto final de requisitos junto aos usuários do sistema. Sendo assim, para dar continuidade a este trabalho, é recomendado que este sistema seja apresentado a possíveis usuários e que haja a realização de testes para determinar a usabilidade da ferramenta.

Por fim, conclui-se que o desenvolvimento deste sistema contribui para que usuários dos *Softwares* de Informação Geográfica, que utilizam a álgebra matricial para obtenção de novas informações, tenham menos chances de cometer erros, uma vez que a automatização de processos elimina etapas. Adicionalmente, a existência da ferramenta permite que rapidamente sejam simuladas situações como a mudança de um peso, camada ou parâmetro e a consequente observação dos efeitos no mapa de síntese. A disponibilização deste sistema aumenta a quantidade de ferramentas desenvolvidas com enfoque nos requisitos de usuários – não necessariamente especialistas em SIG's -, e consequentemente contribuí para o aumento da utilização destas análises para diversas aplicações demandadas.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, CLÁUDIO CLEMENTE et al. Operadores zonais em álgebra de mapas e sua aplicação a zoneamento ecológico-econômico. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, IX**, 1998. Disponível em: < marte.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.08.11.17/doc/7_166o.pdf>. Acesso em: 18 de novembro de 2019.

BARONI, Isadora. **Análise espacial para identificação de áreas potenciais para Instalação de pequenas centrais hidrelétricas**. UFPR, Curitiba, 2018.

BERRY, Joseph K. **Cartographic modeling: The analytical capabilities of GIS**. *Environmental modeling with GIS*, p. 58-74, 1993.

BORGES, Karla AV; DAVIS JR, Clodoveu A.; LAENDER, Alberto HF. **Modelagem conceitual de dados geográficos**. CASANOVA, et. al. Banco de Dados Geográfico. MundoGEO: Curitiba, p. 83-136, 2005. Disponível em: < https://www.researchgate.net/profile/Alberto_Laender/publication/47444689_Modelagem_conceitual_de_dados_geograficos/links/00b7d528e7116bc1be000000/Modelagem-conceitual-de-dados-geograficos.pdf>. Acesso em: 19 de novembro de 2019.

CÂMARA, Gilberto. **Representação computacional de dados geográficos**. CASANOVA, MA et al. Banco de dados geográficos. Curitiba: Mundogeo, p. 11-52, 2005. Disponível em: < dpi.inpe.br/gilberto/livro/bdados/cap1.pdf>. Acesso em: 19 de novembro de 2019.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos, INPE, 2001. Disponível em: < <http://197.249.65.74:8080/biblioteca/bitstream/123456789/570/1/publicacao.pdf> >. Acesso em: 19 de novembro de 2019.

CARDOSO, Tiago Alves; SANTOS, Adriana de Paula Lacerda. **Métodos multicritério de apoio à decisão no planejamento de construções e reformas de edificações**. Revista Espacios, Vol. 38. Venezuela, 2017. Disponível em: < <https://www.revistaespacios.com/a17v38n37/a17v38n37p12.pdf> >. Acesso em: 20 de novembro de 2019.

CASTRO, Mônica Cristina de. Detecção da ocorrência das condições geométricas no processo de generalização cartográfica de cartas topográficas urbanas com um sistema especialista. 2014. Disponível em: < acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/55181/R%20-%20D%20-%20MONICA%20CRISTINA%20DE%20CASTRO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 17 de novembro de 2019.

CORDEIRO, João Pedro Cerveira; ERTHAL, Guaraci José. Álgebra de mapas: agregações e vizinhanças. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSOREAMENTO REMOTO, Natal, RN**, 2009. Disponível em: < <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.18.11.01/doc/4951-4960.pdf> >. Acesso em: 17 de novembro de 2019.

CORDEIRO, JOÃO PEDRO et al. Álgebra de geo-campos e suas aplicações. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 8, p. 14-19, 1996. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap8-algebra.pdf>>. Acesso em: 19 de novembro de 2019.

CORDEIRO, JOÃO PEDRO et al. **Álgebra de geo-campos e suas aplicações**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, v. 8, p. 14-19, 1996. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/attachment.cgi/sid.inpe.br/deise/1999/02.01.16.51/doc/T209.pdf>>. Acesso em: 17 de novembro de 2019.

CORDEIRO, João Pedro; BARBOSA, Cláudio Clemente Faria; CÂMARA, Gilberto. Álgebra de campos e objetos. **Análise Espacial de Dados Geográficos**, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/csp/v21n4/34.pdf>>. Acesso: 17 de novembro de 2019.

DOS SANTOS CARNASCIALI, Ana Maria; DELAZARI, Luciene Stamato. A localização geográfica como recurso organizacional: utilização de sistemas especialistas para subsidiar a tomada de decisão locacional do setor bancário. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 15, n. 1, p. 103-125, 2011. Disponível em: <[scielo.br/pdf/rac/v15n1/v15n1a07.pdf](http://www.scielo.br/pdf/rac/v15n1/v15n1a07.pdf)>. Acesso em: 20 de novembro de 2019.

FITZ, Paulo Roberto. **Geoprocessamento sem complicação**. Oficina de textos, 2008. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=eiJHDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT4&dq=Geoprocessamento+sem+complica%C3%A7%C3%A3o&ots=7B7i0l6ccL&sig=BcKW-iFEIXrhKkmTUMEqBf_oMCc#v=onepage&q=Geoprocessamento%20sem%20complica%C3%A7%C3%A3o&f=false>. Acesso em: 20 de novembro de 2019.

GIBOSHI, Monica Luri et al. Desenvolvimento de um sistema especialista para determinar a capacidade de uso da terra. 1999.

HAKLAY, Mordechai; ZAFIRI, Antigoni. Usability engineering for GIS: learning from a screenshot. *The Cartographic Journal*, v. 45, n. 2, p. 87-97, 2008. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1179/174327708X305085?needAccess=true>>. Acesso em: 28 de novembro de 2019.

HUBNER, C. E.; OLIVEIRA, F. H. **Gestão da Geoinformação em Implementações Multiusuários**. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. UFSC, Florianópolis, 10p. 2008. Disponível em: <http://www.geolab.faed.udesc.br/publicacoes/Cleice/cobrac02008_1.pdf>. Acesso em: 28 de novembro de 2019.

JANNUZZI, P. de M.; MIRANDA, WL de; SILVA, DSG da. **Análise multicritério e tomada de decisão em políticas públicas: aspectos metodológicos, aplicativo operacional e aplicações**. *Informática Pública*, v. 11, n. 1, p. 69-87, 2009. Disponível em: <http://www.ip.pbh.gov.br/ANO11_N1_PDF/analise_multicriterio_e_tomada_de_decisao_em_Politiclas_Publicas.pdf>. Acesso em: 18 de novembro de 2019.

KONNO, Lidia Harumi. **VALIDAÇÃO DE REQUISITOS DE UM SISTEMA DE GEOINFORMAÇÃO A PARTIR DO USO DE PROTÓTIPO E CENÁRIOS**. 2018. Dissertação de Mestrado. UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Disponível em: <acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/57383/R%20-%20D%20-%20LIDIA%20HARUMI%20KONNO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 17 de novembro de 2019.

MELLO, João Carlos Correia Baptista Soares et al. **Análise Multicritério da presença da Universidade Federal Fluminense com o uso do Método Macbeth**. Production, v. 11, n. 2, p. 53-67, 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-65132001000200004&script=sci_arttext>. Acesso em: 20 de novembro de 2019.

Nielsen, J. & Loranger, H. Usabilidade na Web: projetando websites com qualidade. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. xxiv, 406 p., il. Inclui índice. ISBN 9788535221909 (broch.).

PANTALEÃO, E. **Aplicação de Técnicas de Sistemas Baseados em Conhecimento em Projeto Cartográfico Temático**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2003. Disponível em: <acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/3100/Dissertação%20Eliana.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Acesso em: 19 de novembro de 2019.

PICANÇO JR, Péricles Luiz; DELAZARI, Luciene Stamato. AVALIAÇÃO DA USABILIDADE DE INTERFACES DE SISTEMAS VGI NA TAREFA DE INSERÇÃO DE FEIÇÕES. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 22, n. 3, p. 492-510, 2016. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/3939/393947452007.pdf>>. Acesso em: 20 de novembro de 2019.

PINTO FILHO, José Carlos Rodrigues. **EXEMPLOS DE USO DE BIG DATA E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (GIS) EM SERVIÇOS PÚBLICOS E PRIVADOS**. Congresso internacional de administração. Bolívia, 2018. Disponível em: <https://admpg.com.br/2019/anais/2018/arquivos/03242018_110318_5ab66262ccf0c.pdf>. Acesso em: 20 de novembro de 2019.

PRESSMAN, R. S. Engenharia de Software. 3. ed. São Paulo: Makron Books, 1995.

PRESSMAN, R. S. Engenharia de software – uma abordagem profissional. São Paulo: McGraw-Hill, 2011.

RAMOS, G. D. **Determinação das características da geoinformação na interação do usuário em um sistema para cálculo da contribuição de melhoria**. 121 f. Dissertação (Mestrado em ciências geodésicas) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/43669/R%20-%20D%20-%20GUSTAVO%20DIAS%20RAMOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 20 de novembro de 2019.

RODRIGUES, Daniel Souto. **Avaliação multicritério de acessibilidade em ambiente SIG**. 2001. Tese de Doutorado. Disponível em: <<https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/42>>. Acesso em:

SAMPAIO, Tony Vinicius Moreira. **Diretrizes e procedimentos metodológicos para a cartografia de síntese com atributos quantitativos via álgebra de mapas e análise multicritério**. Boletim de Geografia, v. 30, n. 1, p. 121-131, 2012. Disponível em: <<http://www.periodicos.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/article/view/9701/9378>>. Acesso em: 20 de novembro de 2019.

SAMPAIO, Tony Vinicius Moreira. Diretrizes e procedimentos metodológicos para a cartografia de síntese com atributos quantitativos via álgebra de mapas e análise multicritério. **Boletim de Geografia**, v. 30, n. 1, p. 121-131, 2012. Disponível em: <<http://www.periodicos.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/article/view/9701/9378>>. Acesso em: 20 de novembro de 2019.

SLUTER, C. R.; van ELZAKKER, C.P.J.M.; IVÁNOVÁ, I. **Requirements elicitation for geo-information solutions**. The Cartographic Journal, p. 1-14, julho, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1179/1743277414Y.0000000092>>. Acesso em: 20 de novembro de 2019.

SOMMERVILLE, I. Engenharia de software. São Paulo: Addison Wesley, 2003.

SOMMERVILLE, I. Integrated Requirements Engineering: A Tutorial. IEEE Software, v.22, p.16-23, jan. 2005. Disponível em:<<https://ieeexplore.ieee.org/document/1377118/>>. Acesso em: 20 de novembro de 2019.

ZAPAROLI, Wagner. Engenharia de requisitos: um fundamento na construção de sistemas de informação. **Exacta**, n. 1, p. 97-107, 2003. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/810/81000109.pdf>>. Acesso em: 20 de novembro de 2019.

